

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DEL  
TECNOPARQUE 7 AGROECOLÓGICO YAMBORÓ  
MUNICIPIO DE PITALITO – HUILA**

**MARCELA TRUJILLO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2009**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DEL  
TECNOPARQUE 7 AGROECOLÓGICO YAMBORÓ  
MUNICIPIO DE PITALITO – HUILA**

**MARCELA TRUJILLO GÓMEZ**

Informe de pasantía presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniera Agrícola

Director

**MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO**

Especialista en Ingeniería de Irrigación

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
NEIVA  
2009**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

**DIRECTOR PROYECTO DE GRADO:**

\_\_\_\_\_  
**ING.**  
**MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO**  
Especialista en Ingeniería de Irrigación  
Profesor Universidad Surcolombiana

**JURADOS PROYECTO DE GRADO:**

\_\_\_\_\_  
**ING.**  
**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
Ingeniero Agrícola M.Sc., Doctor  
Profesor Universidad Surcolombiana

\_\_\_\_\_  
**ING.**  
**JAIME IZQUIERDO BAUTISTA**  
Ingeniero Agrícola  
Profesor Universidad Surcolombiana

**NEIVA, MAYO DE 2009**

*Dedico este trabajo*

*A Dios por darme sabiduría y fortaleza en mi diario vivir, haciendo que todo lo que me proponga lo pueda cumplir.*

*A mis Padres Albeiro Trujillo y Martha Gómez por su constante esfuerzo y dedicación, con el que ven culminado un nuevo logro en mi vida.*

*A mi hermanita Pilar, quien con pequeños detalles me impulsa diariamente para la consecución de mis metas.*

*A mi abuelita Nelly, símbolo de paciencia y perseverancia.*

*A mis amigos por brindarme su apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

**Universidad Surcolombiana** (Neiva), en especial al cuerpo de docentes del programa de Ingeniería Agrícola por su misión formadora tanto académica como personal.

**SENA – Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró**, por brindarme la oportunidad de hacer parte de su comunidad desarrollando mi proyecto de grado, por el acompañamiento y confianza de todo el personal que lo integra.

**Miguel Germán Cifuentes Perdomo**, Ingeniero Agrícola, Especialista en Ingeniería de Irrigación y Director del Proyecto, por su valiosa orientación, por compartir su amplia experiencia, aportar sus conocimientos, apoyo, dedicación y consejos.

**Engelberto Rodríguez Burgos**, Ingeniero Agrícola, Especialista en Ingeniería de Regadíos e Instructor del Tecnoparque, por su confianza, acompañamiento y valiosa colaboración durante la ejecución de este proyecto.

**Rodrigo Pachón**, Ingeniero Agrónomo, Profesor de la Universidad Surcolombiana, por brindarme su amistad, apoyo, colaboración y comprensión durante todo este proceso de aprendizaje.

**Armando Torrente**, Ingeniero Agrícola M.Sc., Profesor de la Universidad Surcolombiana, por su disposición ante la valoración de este proyecto.

**Jaime Izquierdo**, Ingeniero Agrícola, Profesor de la Universidad Surcolombiana, por su colaboración y asesoría durante mi formación profesional.

**Gladis Quino**, Secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola, por su paciencia y valiosa colaboración.

**Amigos y compañeros** quienes brindan alegría y respaldo en mi vida.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>17</u>
<u>1. OBJETIVOS</u>	<u>18</u>
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
<u>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</u>	<u>19</u>
2.1 VENTAJAS DEL SISTEMA	20
2.2 DESVENTAJAS DEL SISTEMA	21
2.3 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO	22
2.4 RECOMENDACIONES PARA LAS PRUEBAS HIDRÁULICAS	22
<u>3. METODOLOGÍA</u>	<u>23</u>
3.1 UBICACIÓN Y CARÁCTERÍSTICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO	23
3.2 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA	23
3.2.1 Captación de agua y red interna de distribución	23
3.2.2 Caseta de bombeo	25
3.2.3 Unidades productivas	26
3.3 DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN	26
3.3.1 Modelo general de evaluación	26
3.3.2 Evaluación hidráulica	29
3.3.2.1 Coeficiente de uniformidad	29
3.3.2.2 Caudal de descarga y presión	30
3.3.3 Evaluación estadística	30
3.4 OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	31

<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	<u>32</u>
4.1 INVERNADERO CONVENCIONAL	32
4.1.1 Evaluación hidráulica	32
4.1.1.1 Cálculos hidráulicos	35
4.1.1.2 Presupuesto	44
4.1.1.3 Cálculo del coeficiente de uniformidad	47
4.1.2 Análisis estadístico	47
4.2 INVERNADERO AUTOMATIZADO	57
4.3 VIVERO	63
4.3.1 Cálculos hidráulicos	63
4.3.2 Presupuesto	69
4.4 HORTALIZAS	72
4.4.1 Cálculos hidráulicos	73
4.4.2 Presupuesto	77
4.5 PLANTAS MEDICINALES	80
4.5.1 Cálculos hidráulicos	80
4.5.2 Presupuesto	88
4.6 BANCO DE PROTEÍNAS	90
4.6.1 Cálculos hidráulicos	90
4.6.2 Presupuesto	98
4.7 ZONAS VERDES	99
4.7.1 Presupuesto	99
4.8 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	102
<u>5. CONCLUSIONES</u>	<u>105</u>
<u>6. RECOMENDACIONES</u>	<u>106</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>107</u>
ANEXOS	109

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Localización geográfica y ubicación del área del proyecto	24
Figura 2. Modelo general de evaluación	29
Figura 3. Modelo específico de evaluación	34
Figura 4. Sistema de riego por goteo, invernadero convencional	45
Figura 5. Vista en planta sistema de riego por goteo, invernadero convencional	46
Figura 6. Medida de presión al final del lateral	54
Figura 7. Medida de presión a la entrada del sistema de riego	54
Figura 8. Sistema de riego por microaspersión aérea, invernadero automatizado	57
Figura 9. Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 18 microaspersores	59
Figura 10. Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 20 microaspersores	60
Figura 11. Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 21 microaspersores	61
Figura 12. Vista en planta sistema de riego por microaspersión aérea, invernadero automatizado	62
Figura 13. Anterior sistema de riego por microaspersión, vivero	63
Figura 14. Nuevo sistema de riego por microaspersión, vivero	68
Figura 15. Vista en planta sistema de riego por microaspersión, vivero	70
Figura 16. Anterior sistema de riego por goteo, hortalizas	72
Figura 17. Nuevo sistema de riego por goteo, hortalizas	72
Figura 18. Vista en planta sistema de riego por goteo, hortalizas	79
Figura 19. Anterior sistema de riego por goteo, plantas medicinales	80

Figura 20. Nuevo sistema de riego por aspersión, plantas medicinales	86
Figura 21. Vista en planta sistema de riego por aspersión, medicinales	87
Figura 22. Instalación sistema de riego por aspersión, banco de proteínas	95
Figura 23. Vista en planta sistema de riego por aspersión, banco de proteínas	97
Figura 24. Vista en planta diseño sistema de riego por microaspersión, zonas verdes	101

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Caudal (LPH) en goteros seleccionados en un muestreo de acuerdo con la posición del sector de riego en el sistema y la posición del gotero en el lateral	48
Tabla 2. Análisis de varianza para la variable caudal (LPH) de acuerdo con los factores motivo de estudio	50
Tabla 3. Diferencia de medias para la variable caudal (LPH)	52
Tabla 4. Presión a la salida del lateral (PSI) tomada de un muestreo donde se evaluó la posición del sector de riego en el sistema	55
Tabla 5. Estadígrafos para la variable coeficiente de uniformidad (Cu%) en goteros seleccionados en un muestreo de acuerdo con la posición del sector de riego y la posición en el lateral	56

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Descripción de unidades productivas y sus sistemas de riego encontrados	27
Cuadro 2. Evaluación realizada a los sistemas de irrigación	28
Cuadro 3. Descripción de las unidades productivas	33
Cuadro 4. Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador	35
Cuadro 5. Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador	36
Cuadro 6. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería de alimentación "método múltiples salidas"	38
Cuadro 7. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería principal "método múltiples salidas"	39
Cuadro 8. Taller: Riego a presión: Cálculo de pérdidas unidad de filtrado	41
Cuadro 9. Comparación de las condiciones hidráulicas, invernadero convencional	43
Cuadro 10. Detalles presupuesto del sistema de riego presente	44
Cuadro 11. Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad microaspersión	64
Cuadro 12. Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad microaspersión	65
Cuadro 13. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería alimentación "método múltiples salidas"	67
Cuadro 14. Comparación de las condiciones hidráulicas, vivero	69
Cuadro 15. Detalles presupuesto del sistema de riego instalado	71
Cuadro 16. Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador	73

Cuadro 17. Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador	74
Cuadro 18. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería de alimentación "método múltiples salidas"	76
Cuadro 19. Detalles presupuesto del sistema de riego instalado	77
Cuadro 20. Taller: Riego a presión: Cálculo del espaciamiento máximo permisible para la selección e instalación de la unidad de riego (EMP)	81
Cuadro 21. Taller: Riego a presión: Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua en una unidad de riego (Ga)	81
Cuadro 22. Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego por aspersión. Método "múltiples salidas"	82
Cuadro 23. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería múltiple. "Método múltiples salidas"	84
Cuadro 24. Comparación de las condiciones hidráulicas, plantas medicinales	88
Cuadro 25. Detalles presupuesto del sistema de riego instalado	89
Cuadro 26. Taller: Riego a presión: Cálculo del espaciamiento máximo permisible para la selección e instalación de la unidad de riego (EMP)	90
Cuadro 27. Taller: Riego a presión: Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua, en una unidad de riego (Ga)	91
Cuadro 28. Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego por aspersión. Método "múltiples salidas"	92
Cuadro 29. Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería múltiple. "Método múltiples salidas"	94
Cuadro 30. Comparación de las condiciones hidráulicas, banco de proteínas	96
Cuadro 31. Detalles presupuesto del sistema de riego instalado	98
Cuadro 32. Detalles presupuesto del sistema de riego diseñado	99

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Valores de F para la determinación de pérdidas múltiples salidas cuando se aplica la formula de Hazen - Williams	110
Anexo B. Pérdidas de presión en tuberías PVC	111
Anexo C. Pérdidas de presión en tuberías PR	112
Anexo D. Perdidas de carga en accesorios – Longitud equivalente (Le) en metros de tubería recta del diámetro nominal	113
Anexo E. Longitud equivalente (Le) por accesorios	114
Anexo F. Relación diámetro – espesor para tuberías PVC y PR	115
Anexo G. Perdidas de carga en filtros de malla – discos	116
Anexo H. Valores de $F$ , estadística	117
Anexo I. Puntos porcentuales superiores de la amplitud studentizada, $q_{\infty} = (\bar{Y}_{max} - \bar{Y}_{min})/S_{\bar{Y}}$	119
Anexo J. Concesión de Aguas Superficiales Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró	121
Anexo K. Actividad a desarrollar para el debido mantenimiento de los diferentes sistemas de irrigación	127

## LISTA DE PLANOS

Plano N° 1. Vista en planta diseño sistema de riego por goteo, invernadero convencional. Vista en planta diseño sistema de riego por goteo, hortalizas

Plano N° 2. Distribución pluviométrica (isoyetas) sistema de riego por microaspersión, invernadero automatizado

Plano N° 3. Vista en planta diseño sistema de riego por microaspersión aérea, invernadero automatizado. Vista en planta diseño sistema de riego por microaspersión, vivero

Plano N° 4. Vista en planta diseño sistema de riego por aspersión, plantas medicinales. Vista en planta diseño sistema de riego por aspersión, banco de proteínas

Plano N° 5. Vista en planta diseño sistema de riego por microaspersión, zonas verdes

## RESUMEN

El presente trabajo plasma los resultados de la Evaluación Hidráulica de los Sistemas de Riego del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, municipio de Pitalito – Huila, con la cual se buscó corregir posibles fallas en los sistemas para aprovechar su funcionalidad al máximo.

La evaluación hidráulica se desarrolló siguiendo la metodología para sistemas de riego a presión propuesta por el Ing. Miguel Germán Cifuentes Perdomo. Para determinar la eficiencia de los sistemas se efectuó el monitoreo de las variables caudal, presión y coeficiente de uniformidad en tres diferentes puntos de las líneas de riego; 10%, 40% y 90% de la longitud.

Debido al pésimo estado en que se encontraban algunos sistemas de irrigación, no se les aplicó la evaluación hidráulica anteriormente descrita, por ende se decidió efectuar el rediseño e instalación de los mismos.

Se determinó que las principales causas que afectan el funcionamiento de los sistemas de riego son la acumulación de sedimentos y las fugas en las tuberías laterales debido a tubería sin obturar, partida y trenzada. Dichas fallas afectan el adecuado funcionamiento de los sistemas, ya que generan disminución en la presión y el caudal, como consecuencia se produce una baja en la eficiencia de aplicación del agua de riego.

## SUMMARY

The present work shows the results of the Hydraulic Evaluation of the Systems of Irrigation of the Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, of Pitalito - Huila, with which one sought to correct possible faults in the systems, to take advantage to the maximum of his functionality.

The hydraulic evaluation developed following the methodology for systems of irrigation to pressure proposed by the Ing. Miguel Germán Cifuentes Perdomo. To determine the efficiency of the systems the monitoring of the variables was effect wealth, pressure and coefficient of uniformity in three different points of the lines of irrigation; 10 %, 40 % and 90 % of the length.

Due to the terrible condition in which they were finding some systems of irrigation, the hydraulic evaluation was not applied to them previously described, for it was decided to effect the redesign and installation of the same ones

One determined that the principal reasons that affect the functioning of the systems of irrigation are the accumulation of sediments and the escapes in the lateral pipelines due to pipeline without plugging, divided and plaited. The above mentioned faults affect the suitable functioning of the systems, since they generate decrease in the pressure and the wealth, since consequence produces a fall to itself in the efficiency of application of the water of irrigation.

## INTRODUCCIÓN

Debido a las alteraciones climáticas, al mal manejo de las cuencas hidrográficas, al incremento del consumo por parte de las industrias y ciudades, el agua se hace cada vez más escasa, generando un grave problema de carácter mundial. Por lo anterior, en el ámbito agrícola se han desarrollado diversos sistemas de riego que se ajustan a situaciones específicas con la finalidad de suplir las necesidades de los cultivos en una forma adecuada y oportuna, ya que la agricultura es la actividad que más demanda del recurso hídrico presenta.

En nuestro país, las modalidades de riego más empleadas para la adecuación de tierras son el riego por gravedad o riego por superficie y el riego presurizado, este último presenta altos niveles de eficiencia de aplicación, ya que permite tener un mayor control en la aplicación de volumen de agua, aunque estos niveles dependen de la calidad del diseño, del manejo de la instalación y de la operación y mantenimiento de sus componentes; por lo anterior se hace necesario el desarrollo de evaluaciones hidráulicas que conlleven a la optimización de los sistemas. Dichas evaluaciones hidráulicas se han aplicado en el departamento del Huila con el fin de buscar formas adecuadas para la correcta y racional utilización del recurso hídrico.

Por lo anteriormente mencionado y con el objetivo de optimizar los sistemas de irrigación e incrementar la eficiencia en el uso del recurso agua, se realizó una evaluación hidráulica a los sistemas de riego del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró en el municipio de Pitalito – Huila.

La evaluación se aplicó a los sistemas hidráulicos encontrados al inicio de la pasantía de las siguientes unidades productivas del Tecnoparque 7:

Invernadero Convencional: Sistema de riego por goteo

Invernadero Automatizado: Sistema de riego por microaspersión

Vivero: Sistema de riego por microaspersión

Hortalizas: Sistema de riego por goteo

Medicinales: Sistema de riego por goteo

Adicionalmente, se realizó el diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para la unidad productiva Banco de Proteínas y el diseño de un sistema de riego por microaspersión para las Zonas Verdes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar una evaluación hidráulica a los sistemas de riego instalados en el Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró – Pitalito con el fin de generar los correctivos necesarios para su optimización.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar hidráulicamente los sistemas de riego, mediante la valoración del coeficiente de uniformidad, caudal de descarga, presión de trabajo y diámetros de tubería.
- Implementar correctivos necesarios que generen la optimización o adecuado funcionamiento de los sistemas de riego de las diferentes unidades productivas.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Aprovechar los recursos que ofrece la naturaleza, conservando sus características ecológicas básicas, constituye uno de los principales fines del desarrollo sostenible, y una alternativa es la instalación de sistemas de irrigación, debido a que los recursos disponibles de agua que se pueden usar hoy en día son muy limitados y se están convirtiendo en un factor restrictivo para la producción, lo cual lleva a la búsqueda de nuevas fuentes y un estricto control sobre las ya existentes.

El riego consiste en aportar agua al suelo para que las plantas tengan el suministro que necesitan favoreciendo así su crecimiento. Ya que las plantas al igual que todo ser vivo, transpiran agua en forma de vapor, en este proceso intervienen un fenómeno de demanda de la atmósfera y de oferta de agua por parte del suelo. En la medida que el suelo pueda suministrar agua en forma eficiente para satisfacer la demanda, las plantas crecen y se desarrollan adecuadamente, es decir, existe una relación casi directa entre los procesos de crecimiento y la cantidad de agua absorbida y evaporada desde las hojas. Por lo anterior la importancia de la instalación de sistemas de irrigación, lo cual no significa que haya que suministrar agua en forma excesiva, debido a que el aire presente en los poros del suelo es desplazado por el agua, creándose una asfixia radicular e incluso provocando la muerte de la planta.

Los métodos más comunes de riego son:

- Riego por goteo y microaspersión, o riego localizado
- Riego por aspersión.
- Riego por surcos.
- Riego por inundación.
- Riego por infiltración o canales.

El riego localizado se podría definir como la aplicación frecuente de agua filtrada al suelo en pequeñas cantidades a través de una red de tuberías y dispositivos especiales denominados "emisores", ubicadas a lo largo de la línea de distribución. De esta manera el agua es conducida desde la fuente a cada planta, minimizando las pérdidas por conducción y aquellas por evaporación y percolación. El riego por goteo ha sido definido como "la aplicación en bajos volúmenes de agua, generalmente gota a gota, y con alta frecuencia, a las plantas en forma individual"<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> SALAZAR MOLINA, Carlos y ARANGO TOBÓN, Julio César. Métodos de riego en cultivos bajo cobertizo. Medellín. Universidad Nacional, 2008. p. 95.

Con los sistemas de riego localizado se pretende además controlar, bajo adecuadas condiciones de diseño, operación y manejo, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo generando en la zona radicular del cultivo un ambiente con características físicas, químicas y biológicas que permitan mayores rendimientos, productos de alta calidad que incrementen la rentabilidad de la empresa agrícola.

El diseño de los sistemas de riego por microaspersión y goteo, desde un punto de vista ingenieril y agronómico, tiene como objetivo fundamental mantener un volumen de dimensiones adecuadas de la zona radicular de las plantas bajo un nivel de humedad cercano a capacidad de campo. La distribución y el nivel de humedad del suelo deben adecuarse de tal forma que la relación entre los factores agua-suelo-planta optimice el uso del recurso, el rendimiento de la planta en términos de producción y desarrollo.

## **2.1 VENTAJAS DEL SISTEMA**

El riego por goteo y microaspersión presenta numerosas ventajas, algunas de ellas son comunes a otros métodos de riego, sin embargo existen algunas que le son exclusivas.

### ➤ Eficiencia en el uso del agua

En general las pérdidas que presenta el método son mínimas. Las pérdidas por conducción en un sistema bien instalado son nulas ya que el agua se conduce por tuberías. La evaporación desde el suelo es reducida ya que al estar el emisor sobre el suelo, las fuerzas capilares tienden a absorber el agua muy rápidamente. Zona radicular del cultivo permanece la mayor parte del tiempo bajo condiciones óptimas de humedad.

### ➤ Topografía y suelo

El riego por microaspersión y goteo no presenta ninguna restricción de tipo topográfico para su establecimiento. Una de las mayores ventajas que presentan estos sistemas es precisamente el poder utilizarse en áreas con topografía muy heterogénea y con pendientes pronunciadas.

### ➤ Producción y calidad del producto

En general se ha encontrado que bajo riego localizado se obtienen mayores producciones y un incremento en la calidad del producto. Esto se asocia a que bajo riego por goteo y microaspersión se aplican los niveles de agua requeridos por el cultivo en forma más precisa y se pueden controlar los niveles de agua en diferentes estados de desarrollo para lograr los objetivos de calidad y producción esperados.

➤ **Condiciones agronómicas**

El riego localizado presenta una serie de ventajas para las labores agronómicas de los cultivos y frutales. Una de las que tiene mayor importancia es el hecho que el riego no interfiere con la aplicación de productos químicos, la cosecha, poda y otras series de labores culturales. En la actualidad los sistemas de riego localizado permite aplicar fertilizantes y otros productos químicos en forma efectiva y en base a las necesidades parciales del cultivo o frutal.

## **2.2 DESVENTAJAS DEL SISTEMA**

Los sistemas de goteo y microaspersión pueden presentar serios problemas en su operación y manejo si el diseño es inadecuado y no se consideran todos los antecedentes de calidad de agua, tipo de suelo y característica de los emisores.

➤ **Taponamiento de emisores**

El taponamiento de los emisores, que es el problema más común en estos métodos de riego, se debe fundamentalmente a causas físicas, químicas y biológicas del agua de riego, a los sistemas de filtrado, y al tipo de emisores. Por lo expuesto, un preciso análisis de la calidad del agua de riego es un factor importante para establecer un adecuado sistema de filtraje y la selección del tipo de emisor correcto.

➤ **Salinización en la zona radicular**

La salinidad en zona radicular puede aumentar sustancialmente bajo inadecuadas condiciones de diseño y manejo. La planta extrae agua del suelo y la mayoría de las sales en solución no son absorbidas, lo que va provocando un paulatino aumento de la concentración de sales en la periferia del bulbo húmedo, que al evaporarse el agua deja una costra salina.

➤ **Mala distribución de humedad**

Los sistemas de riego localizados sólo humedecen un porcentaje del volumen radicular. El área humedecida por los emisores dependerá de la descarga, el volumen aplicado en el riego y el tipo de suelo.

➤ **Elevado costo inicial**

Una de las principales y mayores desventajas que presenta el método es su alto costo inicial debido a que toda la instalación es de carácter permanente y requiere de una gran cantidad de accesorios para su adecuado funcionamiento. Sin embargo, si se considera la vida útil del equipo su costo anual es prácticamente insignificante al compararlo con otros costos de operación del proceso productivo.

➤ **Requerimientos técnicos**

Los sistemas de riego por goteo y microaspersión requieren de una mayor capacidad técnica que otros métodos de riego, ya que actualmente se aplica agua y fertilizantes en forma simultánea. Algunos sistemas utilizan elementos

electrónicos que requieren de cierta preparación del operador para obtener el máximo provecho de los niveles de automatización.

### 2.3 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO

Un sistema de riego se evalúa para tener la plena confianza de que su funcionamiento, está de acuerdo con las condiciones definidas en el diseño, las cuales deben ser apropiadas para proveer agua a los cultivos, de manera que todas las áreas bajo riego tengan un suministro pleno de la lámina de riego.

Evaluación de la uniformidad del sistema

La uniformidad de aplicación establece la uniformidad de funcionamiento de las unidades de riego a lo largo de la línea (aplicación del mismo caudal a lo largo de la línea de emisores).

Uniformidad de aplicación

Un sistema de riego a presión debe aplicar el agua de manera uniforme a lo largo de la línea de riego, de suerte que tanto las plantas ubicadas al inicio como al final de la cama reciban el mismo volumen de agua y que dicha cantidad sea la adecuada para cubrir las necesidades hídricas del cultivo mediante el riego.

En la práctica es muy difícil que un sistema opere con una uniformidad perfecta. Una forma de evaluar la uniformidad con que un sistema de riego distribuye el agua es mediante el coeficiente de uniformidad (C.U.). Los valores recomendados de CU se presentan a continuación:

90% -----	100%	Excelente
80% -----	90%	Buena
70% -----	80%	Aceptable
<70% -----		Inaceptable

### 2.4 RECOMENDACIONES PARA LAS PRUEBAS HIDRÁULICAS

- Antes de iniciar la evaluación, se debe contar con el diseño hidráulico del sistema en aras de conocer las zonas críticas y el esquema de operación.
- La información técnica de la unidad de riego, que ofrece el fabricante debe ser considerada en la realización de la prueba.
- Independientemente de que las unidades de riego sean o no autocompensadas, se deben realizar las mediciones correspondientes.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO**

La pasantía se desarrolló en el Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, ubicado aproximadamente a 7 Km del municipio de Pitalito.

El Tecnoparque comprende un área aproximada de 17 hectáreas, se halla situado geográficamente a los 1°53' latitud norte y los 76°05' longitud oeste, con una altitud de 1304 msnm, temperatura media de 21°C, precipitación anual de 2500 mm (Figura 1).

#### **3.2 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA**

Se recopiló información existente como planos topográficos, planos hidráulicos, plan de producción y existencia de materiales disponibles en bodega.

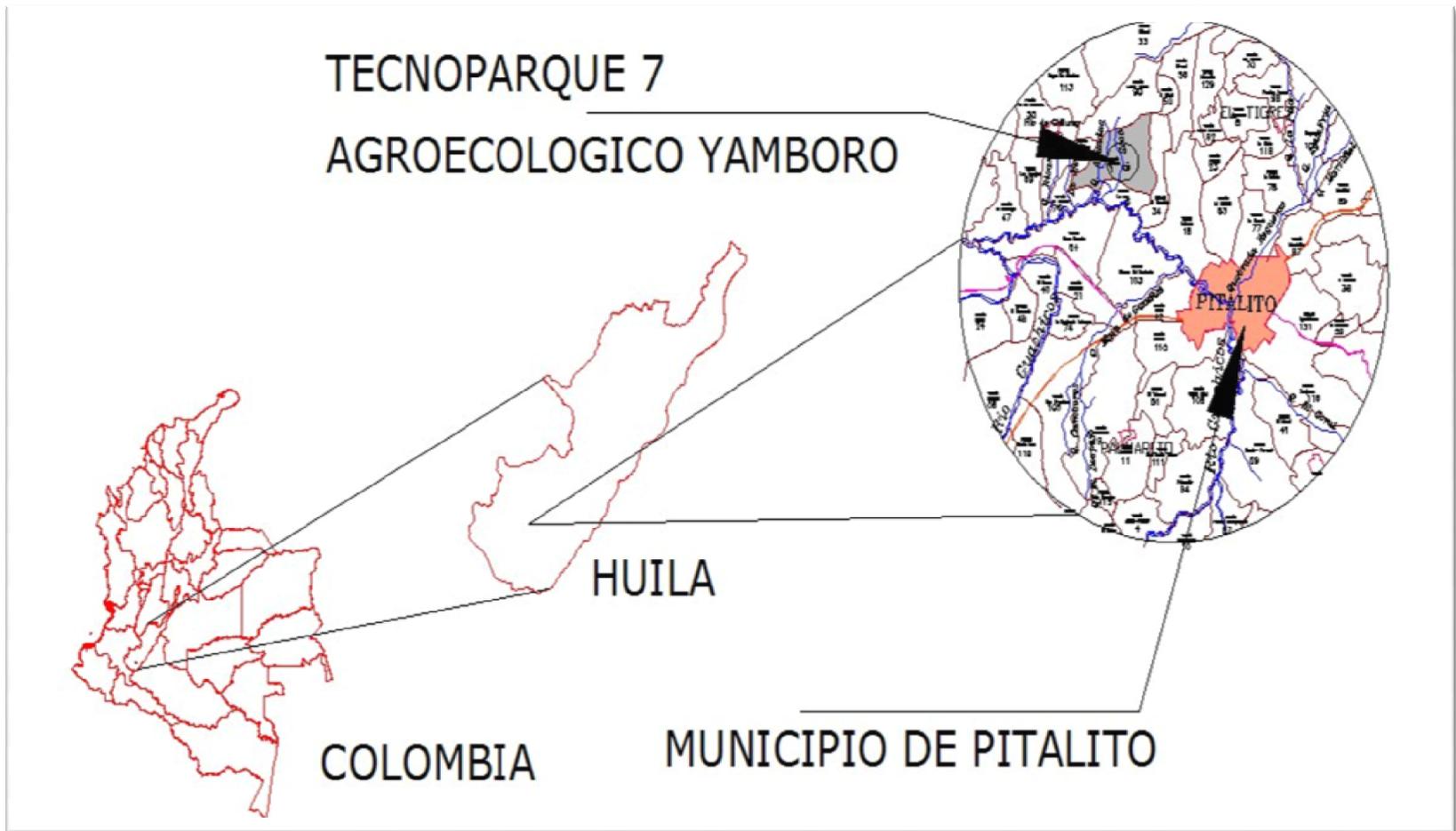
A continuación se describe la captación de agua, la red interna de distribución, la caseta de bombeo y las unidades productivas encontradas en el Tecnoparque 7.

##### **3.2.1 Captación de agua y red interna de distribución**

La fuente de abastecimiento para el Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró es la quebrada El Maco, de la cual se tiene una concesión de aguas de 1.9 Lt/sg emanada por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM (Anexo J), la captación del recurso hídrico se realiza a través de una bocatoma de fondo, la cual capta aproximados 3.6 Lt/sg.

La aducción se realiza en tubería de 3" RDE 41 con una longitud de 24 m, la diferencia de nivel entre bocatoma y desarenador es de 4 m. El desarenador es una estructura en concreto reforzado de dimensiones 1.0 x 4.0 x 2.5 metros, ancho, largo y alto respectivamente. En este se sedimentan las partículas gruesas y el caudal de exceso se retorna a la quebrada.

La conducción del agua entre bocatoma y las instalaciones del Tecnoparque se realiza en tubería de 3" RDE 41 y 32.5, en una longitud de 400 metros y una diferencia de nivel de 80 metros. Esta tubería de conducción llega hasta el reservorio numero 1 y el caudal es controlado con una válvula de control de paso de diámetro 3" (llave de bola).



**Figura 1.** Localización geográfica y ubicación del área del proyecto

La red de distribución interna del Tecnoparque se realiza en tubería de PVC de diámetro 1" y RDE 21, con la cual se garantiza el suministro de agua a todas las unidades productivas, esta red inicia mediante derivación aguas arriba de la válvula control de paso de diámetro 3".

### **3.2.2 Caseta de bombeo**

La caseta de bombeo está construida en mampostería de dimensiones 3 x 6 x 2.6 metros, ancho, largo y alto respectivamente. En la parte superior se encuentra un tanque de almacenamiento de 3000 Lt soportado por una placa en concreto reforzado.

Dentro de la caseta de bombeo hay un modulo compuesto por; electrobomba, programador de riego, filtro de anillos (140 mesh), sistema de fertilización, tres manómetros instalados a la entrada y salida del filtro y a la salida de la electroválvula, además de un controlador de riego.

Cabe destacar que la electrobomba está instalada con fines pedagógicos, pues no es necesaria debido a que por diferencia topográfica se obtiene la presión requerida para el óptimo funcionamiento de los sistemas de irrigación instalados para la unidad productiva invernadero automatizado.

- Las características de la electrobomba son las siguientes:

Modelo: CA 120/556 – MI

Q (Lt/min): 50-150

Voltaje: 220v – 380v, 360 Hz

Succión y descarga: 1" x 1"

RPM: 3400

Motor: Eléctrico de 2 Hp

- El programador de riego es marca Coyote 12 Facimatic, con capacidad de manejo de 12 electroválvulas. Actualmente el programador solo maneja 10 electroválvulas de las cuales 5 son empleadas para fertirrigación (de la número 1 a la 5) y las 5 restantes son destinadas para los sectores de riego (de la número 6 a la 10). El programador se emplea para los sistemas de riego situados en la unidad productiva Invernadero Automatizado.

Algunas características del programador son:

Ajuste de la fecha  
Regulación de los tiempos de riego  
Regulación de los días de riego  
Selección de los días específicos de la semana  
Marcha automática  
Funcionamiento manual, semiautomático y automático

- La unidad de fertirrigación cuenta con 5 tanques plásticos de 200 Lt donde se depositan las soluciones madre, a la salida de cada tanque se encuentra un filtro de mallas de 75 mesh, el fertilizante es succionado por la bomba y es dosificado por medio de flujómetros.

### **3.2.3 Unidades productivas**

Se reconocieron las unidades productivas ubicadas dentro del proyecto de producción agrícola del Tecnoparque, se identificó área de la unidad, su uso potencial, el sistema de irrigación instalado y el estado del mismo. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de lo encontrado.

## **3.3 DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN**

Se efectuó una evaluación hidráulica de los sistemas para determinar sus condiciones de funcionamiento y garantizar una adecuada operación y mantenimiento, la cual se resume en el Cuadro 2.

### **3.3.1 Modelo general de evaluación**

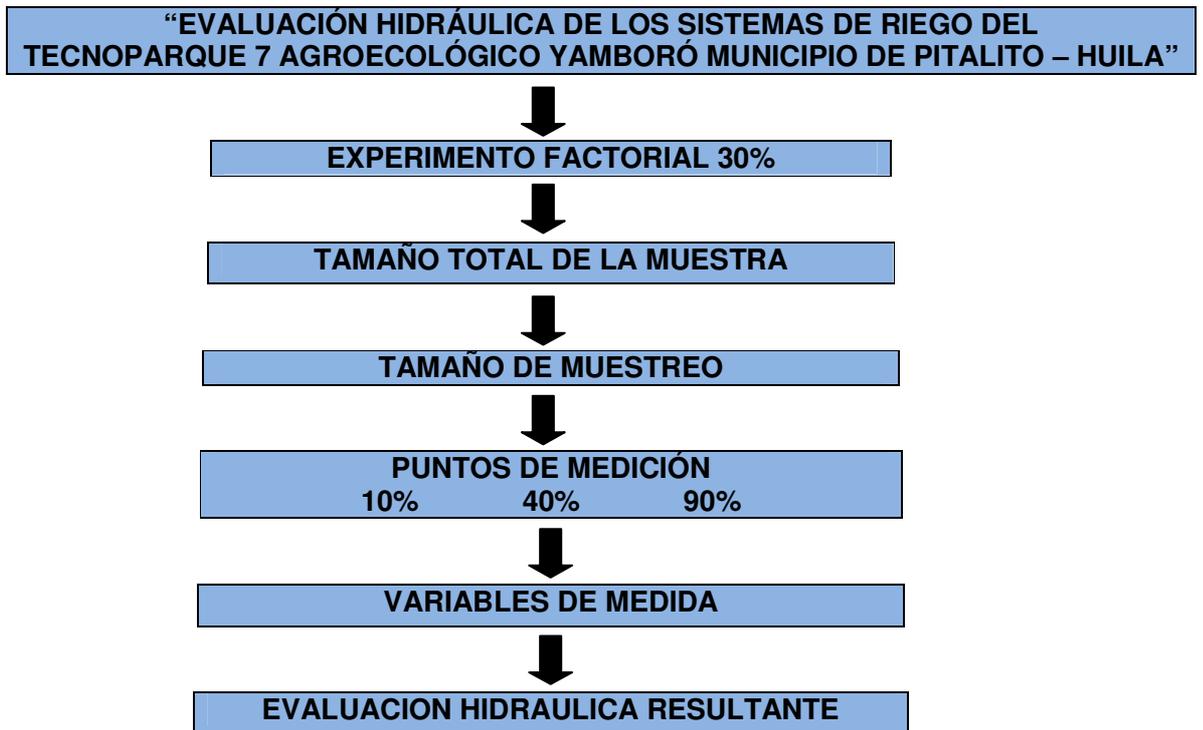
Este modelo planteado por Cifuentes 2001 (Figura 2) se aplicó a los diferentes sistemas de riego, adaptándose según las condiciones propias de cada uno.

**Cuadro 1.** Descripción de unidades productivas y sus sistemas de riego encontrados

UNIDAD PRODUCTIVA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	USO POTENCIAL	SISTEMA DE RIEGO	DESCRIPCIÓN
Invernadero Convencional	1000	Tomate	Goteo	Tuberías en buen estado, sistema de riego funcionando
Invernadero Automatizado	320	Arveja, lechuga, cebolla, acelga, repollo, tomate	Microaspersión	Tuberías en buen estado, sistema de riego funcionando
Vivero	300	Plántulas de café, plantas aromáticas, plantas ornamentales	Microaspersión	Tuberías en mal estado, funcionamiento nulo
Hortalizas	600	Arveja, lechuga, cebolla, acelga, repollo	Goteo	Tuberías en regular estado, sistema de riego funcionando en pésimas condiciones
Plantas Medicinales	400	Hierbabuena, ajeno, romero, manzanilla, albahaca.	Goteo	Tuberías en mal estado, funcionamiento nulo

**Cuadro 2.** Evaluación realizada a los sistemas de irrigación

<b>UNIDAD PRODUCTIVA</b>	<b>EVALUACIÓN APLICADA A LOS SISTEMAS DE RIEGO</b>
Invernadero Convencional	Se aplicó el modelo de evaluación hidráulica de caudal, presión y coeficiente de uniformidad, bajo modelos estadísticos "ANDEVA"
Invernadero Automatizado	Se realizó una evaluación de coeficiente de uniformidad (CU)
Vivero	Debido a las pésimas condiciones en que se encontraba, se realizó una evaluación física, a partir de la cual se decidió en comité técnico rediseñar y construir un nuevo sistema
Hortalizas	Debido a las pésimas condiciones en que se encontraba, se realizó una evaluación física, a partir de la cual se decidió en comité técnico rediseñar y construir un nuevo sistema
Plantas Medicinales	Debido a las pésimas condiciones en que se encontraba, se realizó una evaluación física, a partir de la cual se decidió en comité técnico rediseñar y construir un nuevo sistema
Banco de Proteínas	Debido a la implementación de un banco de proteínas para la unidad productiva ganadería en comité técnico se decidió diseñar e instalar un sistema de riego por aspersión para suplir los requerimientos hídricos de esta unidad
Zonas verdes	En comité técnico se decidió diseñar un sistema de riego por microaspersión para mantenimiento de zonas verdes



Fuente: CIFUENTES PERDOMO, Miguel Germán

**Figura 2.** Modelo general de evaluación

### 3.3.2 Evaluación hidráulica

Se realizaron los cálculos teóricos de los sistemas de riego siguiendo la metodología de Cifuentes <sup>2</sup>, la cual se consignó en forma de talleres.

#### 3.3.2.1 Coeficiente de uniformidad

Debido a la influencia de factores climáticos, físicos o mecánicos el agua no se reparte uniformemente al salir de los emisores, por lo tanto, se hace necesaria la determinación del coeficiente de uniformidad de la lámina aplicada.

“Varias fórmulas han sido propuestas para evaluar la uniformidad de los sistemas de riego a presión, las cuales se pueden utilizar tanto para riego por aspersión, como para microaspersión y goteo”<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> CIFUENTES PERDOMO, Miguel Germán. Metodología para el diseño de riego a presión caso: Granja la “Universidad” distrito de riego Uso Juncal. Neiva: s. n., 2001. p. 47-75.

<sup>3</sup> SALAZAR, C. y ARANGO, J., Op. Cit., p. 190.

La ecuación matemática más empleada es la propuesta por *J.E Christiansen*, la cual para riego por aspersión y microaspersión consiste en ubicar alrededor de las unidades de irrigación y sobre el terreno una cuadrícula en cuyos vértices se distribuirán recipientes pluviométricos de igual área recolectora, en estos se recogerá el agua expulsada por las unidades de riego durante determinado lapso.

Dicha ecuación se aplica también para riego por goteo, consiste en recolectar el agua expulsada por determinados puntos de riego a lo largo de las líneas de irrigación durante un tiempo previamente fijado.

La selección de las posiciones en las cuales se efectuarán las pruebas se hará según el planteamiento de Salazar y Arango <sup>4</sup>: “la variación de la presión a lo largo de una línea de distribución con salidas uniformemente espaciadas, tiene una forma exponencial, y el 77% de las pérdidas se presentan en el 40% de la longitud, la selección de las válvulas para la prueba debe ser consistente con dicha distribución, por lo tanto es preferible *seleccionar las válvulas ubicadas al 10%, 40% y 90% de la longitud*”

### **3.3.2.2 Caudal de descarga y presión**

Para evaluar el caudal de descarga se emplearon recipientes pluviométricos de igual área recolectora y para evaluar las presiones de operación se utilizó un manómetro con glicerina.

Se evaluaron las mismas unidades de riego o posiciones seleccionadas para la determinación del coeficiente de uniformidad en los sectores de los diferentes sistemas de irrigación.

### **3.3.3 Evaluación Estadística**

Para determinar la eficiencia de funcionamiento de los sistemas de riego, se realizó la evaluación de los laterales en tres puntos, llevando el monitoreo de algunas variables en las unidades de descarga.

Lo anterior se realizó siguiendo el esquema de evaluación propuesto (Figura 2), el cual estadísticamente es factorial al 30%, donde se estudian los efectos de varias variables, utilizadas para estudiar paralelamente dos o más factores, siendo éstos cualitativos o cuantitativos <sup>5</sup>.

<sup>4</sup> *Ibíd.*, p 193.

<sup>5</sup> PEREA, Jairo de Jesús. Diseño de experimentos, factorial y parcela dividida. Neiva: Universidad Surcolombiana, s. f. p.1.

En este caso se estudiaron dos factores:

Factor A Posición del sector de riego (Inicial – Medio - Final)

Factor B Posición en el lateral (10% - 40% - 90%)

Se estudiaron los efectos de las siguientes variables:

Caudal (LPH)

Presión (PSI)

Coeficiente de Uniformidad (%)

### **3.4 OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO**

Atendiendo a los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica de los sistemas, se identificaron las falencias que no los hacen óptimos 100%, posteriormente, se plantearon los correctivos necesarios en cuanto al diseño, montaje y operación del sistema que conllevan a la optimización.

Se realizaron los cálculos teóricos de los nuevos sistemas de riego, siguiendo la metodología propuesta por Cifuentes<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> CIFUENTES PERDOMO, Op. Cit., p. 47-75.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Con el desarrollo de la pasantía “Evaluación Hidráulica de los Sistemas de Riego del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró municipio de Pitalito – Huila”, se realizaron los diseños e instalaciones necesarios para optimizar algunos sistemas de riego. Los resultados se presentan a continuación detallando cada una de las partes (Cuadro 3).

Seguidamente se presenta la evaluación hidráulica aplicada a cada una de las unidades productivas

### **4.1 INVERNADERO CONVENCIONAL**

Esta unidad productiva cuenta con un sistema de riego por goteo, el cual presenta tubería principal de 1” de diámetro, RDE 21; tubería de alimentación de 1/2” de diámetro, RDE 21; la tubería del múltiple es de 1/2” de diámetro, RDE 21; los laterales son en cinta de riego de polietileno de 16 mm, la cual trae los goteros incorporados y separados cada 10 cm. Presenta ocho sectores de riego cada uno consta de cinco laterales.

#### **4.1.1 Evaluación Hidráulica**

A continuación se detalla el modelo de evaluación aplicado a la unidad productiva invernadero convencional, la cual presenta un sistema de riego por goteo (Figura 3).

**Cuadro 3.** Descripción de las unidades productivas y soluciones hidráulicas a los sistemas de riego

UNIDAD PRODUCTIVA	ÁREA (m2)	SISTEMA DE RIEGO	DESCRIPCIÓN
Invernadero Convencional	1000	Goteo	Filtro de anillos, 120 mesh Tubería Principal: 1" RDE 21 Tubería Alimentación: 1/2" RDE 21 Tubería Múltiples: 1/2" RDE 21 Tubería Lateral: cinta de riego 16 mm PR 35, goteros incorporados, separados 10 cm. Caudal 0,7 LPH, presión 10 PSI
Invernadero Automatizado	320	Microaspersión	Tubería Múltiples: 1" PR 55 Tubería Laterales: 16 mm PR 35 Caudal 30 LPH, presión 20 PSI
Vivero	300	Microaspersión	Tubería Alimentación: 1/2" RDE 21 Tubería Múltiples: 1/2" RDE 21 Tubería Lateral: 16 mm PR 35 Caudal 16,07 LPH, presión 21,30 PSI
Hortalizas	600	Goteo	Tubería Alimentación: 1/2" RDE 21 Tubería Múltiples: 1/2" RDE 21 Tubería Lateral: cinta de riego 16 mm, goteros incorporados, separados 10 cm Caudal 0,7 LPH, presión 10 PSI
Plantas Medicinales	400	Aspersión	Tubería Múltiples: 1/2" RDE 21 Tubería Lateral: 1/2" RDE 21 Aspersor: 3023 Caudal 840 LPH, presión 25 PSI, diámetro húmedo 20 m
Banco de Proteínas	1200	Aspersión Semi-móvil	Tubería Múltiples: 1" RDE 21 Tubería Lateral: 1" PR 35 Aspersor: 3023 Caudal 840 LPH, presión 25 PSI, diámetro húmedo 20 m
Zonas Verdes	2000	Microaspersión	Para las zonas verdes se realizó el diseño de un sistema de riego por microaspersión.



#### 4.1.1.1 Cálculos hidráulicos

##### ➤ Cálculo del lateral

A continuación se presenta el taller para el cálculo hidráulico de la tubería lateral (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Inv. Convencional	Sector de riego:	1
Emisor :	Cinta goteo	Especie:	Tomate	Fuente:	El Maco
Presión de trabajo (PSI):	10,00	Distancia de siembra (m):	0,35	Caudal disponible (GPM):	15,85
Diámetro húmedo (m):	0,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	3,08
Caudal (LPH) = Qur:	0,70	Q unitario (LPM)	0,01	Caudal/árbol (LPH) máx.:	2,45
Forma de trabajo:	No Autocom.	Unidades riego/árbol:	3,50	Distancia entre emisores (EL) (m):	0,10
4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES				VALORES	
$J = (F)(L)(j)$					
Na = número de árboles a beneficiar:				57,14	
Nur = número de unidades de riego por lateral = N° de salidas:				200	
θ = diámetro y RDE tubería:				16 mm PR 35	
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):				0,351	
Q = caudal total a conducir = (N° unidades de riego)*(Q unitario) (LPM):				2,33	
Ns = numero de espacios entre unidades de riego:				199	
EL = espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m):				0,10	
Ti = tramo inicial desde conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):				0,10	
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):				0,10	
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EL)+(Ti)+(Tf):				20,10	
Le = longitud equivalente por conexión de unidad de riego al lateral 0,05-0,2 m:				0,20	
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):				20,30	
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 4):				0,0125	
$J = (F)(L)(j)$ (m):				0,09	
J permisible (55% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)				0,77	
CHEQUEO $J \leq J$ permisible				<b>VERDADERO</b>	

**Cuadro 4.** Continuación

5. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)			
PRESIÓN A LA ENTRADA (PEL)		PRESIÓN A LA SALIDA (PSL)	
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES
Pur = presión unidad de riego (m):	7,03	PEL = presión entrada lateral (m):	6,12
J = pérdidas totales (m):	0,09	J = pérdidas totales (m):	0,09
$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	-1	$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	1
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (m):	6,12	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (m):	7,03
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (PSI):	8,70	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (PSI):	10,00
6. TAMAÑO DEL LATERAL			
PARA CALCULO DE DISEÑO (TL)		PARA TRAZADO GRAN LATERAL EN EL LOTE (TGL)	
TL = (N° de espacios entre unidades de riego)*(Distancia de siembra)+(Tramo final)+(Tramo inicial) (m)		TL = (N° espacios entre unidades de riego) * (Distancia de siembra)+(Longitud de influencia) * (2); longitud de influencia = (1/2)(EL) (m)	
20,10		20,00	

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Calculo del múltiple**

En el Cuadro 5 se presentan los cálculos hidráulicos de la tubería del múltiple.

**Cuadro 5.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Inv. Convencional	Sector de riego:	1
Emisor:	Cinta de goteo	Especie:	Tomate	Total U.R del gran lateral:	200,00
Presión de trabajo (PSI):	10,00	Distancia de siembra (m):	0,35	Caudal disponible (GPM):	15,85
Díámetro húmedo (m):	0,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	3,08
Caudal (LPH) = Qur:	0,70	Q (unitario) LPM	0,01	Caudal/árbol (LPH) máx.:	2,45
Forma de trabajo:	No Autocom.	Unidades riego/árbol:	3,50	Distancia entre emisores (EL) (m):	0,10

**Cuadro 5.** Continuación

<b>4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>			
<b>VARIABLES</b>		<b>VALORES</b>	
$J = (F)(L)(j)$		<b>100%</b>	<b>60%</b>
Nu.r.= (número de unidades de riego)x(sector de riego) = $Q_{s.r} / Q_{u.r}$ (LPH)		1000,00	600,00
N° de surcos o líneas de riego x sector de riego (SR) = (total U.R del S.R) / (total U.R del gran lateral)		5	3
$\theta$ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):		1/2" RDE 21	1/2" RDE 21
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):		0,457	0,535
Ns = numero de espacios entre surcos:		4	2
EM = espaciamiento entre surcos o líneas de riego sobre el múltiple (m):		1,00	1,00
Ti = tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):		0,10	0,10
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):		0,10	0,10
Lr = longitud real (m) = $(Ns)*(EM)+(Ti)+(Tf)$ :		4,20	2,52
Le = longitud equivalente por conexión de laterales al múltiple 0,25 m para silletas de 12 mm y 0,5 m para silletas de 16 mm :		0,50	0,50
L = longitud total (m) $(Lr)+(Le)$ :		4,70	3,02
Q = caudal de diseño (GPM) y / o para calculo:		3,08	1,85
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):		0,0360	0,0156
$J = (F)(L)(j)$ (m):		0,08	0,03
J permisible (45% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)		0,63	0,63
CHEQUEO $J \leq J$ permisible		<b>VERDADERO</b>	<b>VERDADERO</b>
<b>5. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DEL MÚLTIPLE PREM (m)</b>			
<b>PREM = pérdidas totales múltiple (J) + presión entrada lateral (PEL) + - <math>\Delta H</math> terreno (<math>\Delta H</math>)</b>			
<b>PREM (PSI)</b>		<b>PREM (m)</b>	
9,96		7,00	
<b>PRESIÓN ENTRADA DEL LATERAL (m)</b>		<b><math>\Delta H</math> terreno (<math>\Delta H</math>) (m)</b>	
6,12		0,80	
<b>6. TAMAÑO DEL MÚLTIPLE</b>			
<b>PARA CALCULO DE DISEÑO (TM)</b>		<b>PARA TRAZADO GRAN MÚLTIPLE EN EL LOTE (TGM)</b>	
TM = longitud real (Lr) (m)		TL = $(N^\circ \text{ de espacios entre surcos}) * (\text{Distancia entre surcos}) + (\text{Longitud de influencia}) * (2)$ ; longitud de influencia = $(1/2)(EM)$ (m)	
<b>100% (m)</b>	4,20	<b>100% (m)</b>	5,00
<b>50 % (m)</b>	2,52	<b>50 % (m)</b>	0,20

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Calculo de la tubería de alimentación**

Los cálculos hidráulicos para la tubería de alimentación se ilustran en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería de alimentación "método múltiples salidas"

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Inv. Convencional	Sector de riego:	1
<b>1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>					
<b>VARIABLES</b>					<b>VALORES</b>
$J_1 = (F)(L)(j)$					
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):					1/2" RDE 21
F = depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar) (Tabla N° 1)					1,00
Q = caudal total a conducir = Σ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):					3,08
Lr = longitud real : desde conexión sobre principal hasta conexión del último sector de riego a beneficiar (m)					2,00
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)					2,60
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					4,60
j = perdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):					0,0360
$J_1 = (F)(L)(j)$ (m):					0,17
<b>1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)</b>					
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q (GPM)	Le (m)	
Válvula	1	1/2"	3,08	2,60	
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	2,60				
<b>1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS</b>					
<b>VARIABLES</b>			<b>VALORES</b>		
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1/2"		
RDE tubo:			21		
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00130		
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,02134		
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,01874		
R = radio interno (m):			0,00937		
A = Área tubo = (π)(R <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> ):			0,000276		
Q = caudal (m <sup>3</sup> /seg):			0,0001943		
V = Q/A (m/seg):			0,70		
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,50		
CHEQUEO V ≤ V permisible:			<b>VERDADERO</b>		

**Cuadro 6.** Continuación

2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN (PREA) (m)	
PREA = pérdidas totales tubería de alimentación (J) + presión requerida entrada al múltiple del sector de riego crítico (PREM) + - ΔH terreno (ΔH)	
PREA (PSI)	PREA (m)
10,91	7,67
PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA AL MÚLTIPLE SECTOR DE RIEGO CRÍTICO (m)	ΔH terreno (ΔH) (m)
7,00	0,5

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

➤ **Calculo de la tubería principal**

El Cuadro 7 presentado seguidamente ilustra los cálculos hidráulicos de la tubería principal.

**Cuadro 7.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería principal "método múltiples salidas"

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Inv. Convencional	Sector de riego:	1
1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES					VALORES
$J_1 = (F)(L)(j)$					
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):					1" RDE 21
F =depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar y / o salidas tubería de alimentación) (Tabla N° 1)					0,415
Q = caudal total a conducir = Σ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):					24,64
Lr = longitud real : desde la descarga unidad de bombeo y / o filtrado hasta el último sector de riego a beneficiar (m)					50,00
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)					6,40
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					56,40
j = perdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):					0,17590
$J_1 = (F)(L)(j)$ (m):					4,12

**Cuadro 7. Continuación**

1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)				
ACCESORIOS	CANTIDAD	$\theta$	Q(GPM)	Le (m)
Te activa	2	1"	24,64	3,40
Te pasiva	6	1"	24,64	3,00
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	6,40			
1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS				
VARIABLES			VALORES	
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1"	
RDE tubo:			21	
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00150	
$\theta_e$ = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,03340	
$\theta_i$ = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,03040	
R = radio interno (m):			0,01520	
A = Área tubo = $(\pi)(R^2)$ (m <sup>2</sup> ):			0,00073	
Q = caudal (m <sup>3</sup> /seg):			0,001554	
V = Q/A (m/seg):			2,1410	
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,50	
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:			<b>VERDADERO</b>	
2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA PRINCIPAL PREM (m)				
<b>PREM = pérdidas totales tubería principal (J) + presión requerida entrada tubería de alimentación crítica (PREA) + - <math>\Delta H</math> terreno (<math>\Delta H</math>)</b>				
PREM (PSI)			PREM (m)	
17,48			12,29	
PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN (m) (Taller 12)			$\Delta H$ terreno ( $\Delta H$ ) (m)	
7,67			0,5	

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Calculo de las perdidas en la unidad de filtrado**

El cálculo de las perdidas en la unidad de filtrado se presentan en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Taller: Riego a presión: Cálculo de pérdidas unidad de filtrado

1. DATOS BASICOS											
HUERTO: Inv. Convencional			VEREDA: Aguadas			MUNICIPIO: Pitalito					
CARACTERÍSTICAS						CONEXIONES					
Fuente: Quebrada el Maco						Diámetro de entrada y salida filtros: 1" * 2"					
Caudal diseño (GPM): 24,64						Tubería principal y secundaria: PVC 1" RDE 21					
Relación filtrado: 1						Tubería retrolavado: No presenta					
Descripción filtrado: Anillos						Válvulas control flujo: No presenta					
Capacidad total filtrado (GPM): 24,64						Válvulas control presión: No presenta					
Capacidad individual filtros (GPM): 24,64						Válvulas control aire: No presenta					
Modelo filtros (Gráficas No. 2, 3 ): F – 120						Medición presión: Manómetro 0 - 60 PSI (glicerina)					
ITEMS	VARIABLES					TRAMO-1			TRAMO-2		
TRAMOS	Q: $\sum$ Caudales S.R. a beneficiar (GPM)					24,64					
	LR: Longitud real (m)					1,5					
	Le: Longitud equivalente por accesorios (m)					4					
	L: Longitud total (m) = LR + Le					5,5					
	$\theta$ y RDE tubería (asumirlo)					1" RDE 21					
	j: Pérdidas fricción fabricante tabla No. 2, 3, 8 (m/m)					0,1465					
	J1 = (L)*(j) (m)					0,806					
	$\sum$ J1 (m)					0,806					
2. CÁLCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE ( $L_e$ ) (Tabla No. 5; Gráfica No. 1)											
ITEM	ACCESORIOS	CANT	$\theta$	Q (GPM)	$L_e$ (m)	ITEM	ACCES	CANT	$\theta$	Q	$L_e$
TRAMO-1	Codo	4	1"	24,64	2,8	TRAMO-2					
	Ampliación	1	1" - 2"	24,64	0,6						
	Reducción	1	2" - 1"	24,64	0,6						
	Sumatoria $L_e$	4					Sumat. $L_e$				

**Cuadro 8.** Continuación

3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS			
VARIABLES		TRAMO-1	TRAMO-2
Clase y diámetro de tubería		PVC 1"	
RDE tubo		21	
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante)		0,00150	
$\theta_E$ = Diámetro externo (m) (catálogo fabricante)		0,03340	
$\theta_I$ = Diámetro interno (m) (catálogo fabricante)		0,03040	
R = Radio interno (m) (catálogo fabricante)		0,01520	
A = Área tubo = $(\rho)(R^2)$ (m <sup>2</sup> )		0,00073	
Q = Caudal (m <sup>3</sup> /seg)		0,001554	
V = Q / A		2,14099	
V <sub>PERMISIBLE</sub> (m/seg) según fabricante		2,5	
CHEQUEO: V <= V <sub>P</sub>		<b>VERDADERO</b>	
4. PÉRDIDAS DE CARGA DEL FLUIDO AL PASO A TRAVÉS DE LOS FILTROS (J <sub>2</sub> )			
TIPO FILTRADO	Q (GPM)	J <sub>2</sub> (m)	REFERENCIA
ANILLOS	24,64	0,6	Gráfica No.
ARENA			Gráfica No. 2
MALLA			Gráfica No. 3
J <sub>2</sub> = $\sum J_2$		0,6	"Adaptado filtros Mondragón - España"
5. PÉRDIDAS TOTALES UNIDAD FILTRADO (J)			
$J = J_1 + J_2$			
$J = ( 0,806 ) + ( 0,60 ) = ( 1,406 ) \text{ m}$			

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

Este sistema se encuentra en óptimas condiciones, ya que presenta un funcionamiento adecuado y cuenta con tubería y accesorios hidráulicos en buen estado.

Los resultados de los cálculos hidráulicos indican que los diámetros de tubería utilizados en este sistema son correctos, pues garantizan pérdidas y velocidades de tubería que se encuentran dentro de los rangos permisibles, además, las presiones son adecuadas.

El cálculo de la tubería del lateral crítico presente, arrojó bajas pérdidas por fricción  $0,09\text{m} \leq 0,77\text{m}$  que es el valor máximo permisible (55% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego). Sin embargo, se encuentra sobre diseñada, por lo tanto, se podría haber empleado tubería PR 35 de 12 mm y no tubería PR 35 de 16 mm, con lo cual se reducirían los costos en la instalación del sistema y se obtendría una eficiencia óptima del mismo, ya que las pérdidas por fricción dentro de la tubería no superarían el rango permisible.

Las pérdidas por fricción en el múltiple crítico fueron de 0,08m, las cuales están dentro del rango permisible 0,63m (45% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego). En la instalación de la tubería del múltiple se podría remplazar la tubería empleada RDE 21 de 1/2" por tubería PR 35 de 16 mm, debido a que el sistema se encuentra sobre diseñado, lo cual representa incrementos económicamente significativos.

La tubería de alimentación presenta velocidades menores a la velocidad permisible según el fabricante de la tubería utilizada. Por lo anterior, se considera que los diámetros de la tubería empleada son correctos. No obstante, se podría reducir el diámetro y por ende costos de instalación, pasando de tubería RDE 21 de 1/2" a tubería PR 35 de 16 mm, debido a que el cálculo de la velocidad permisible en las tuberías sigue siendo admisible con dicho cambio de tubería.

La tubería principal presenta velocidades un poco menores a la velocidad permisible según el fabricante de la tubería utilizada. Por lo tanto, se considera que los diámetros de la tubería empleada son los adecuados, siendo los propicios para evitar un posible golpe de ariete.

**Cuadro 9.** Comparación de las condiciones hidráulicas, invernadero convencional

TUBERÍA	CLASE Y DIÁMETRO DE TUBERÍA		PÉRDIDAS DE CARGA (m)			VELOCIDAD DE TUBERÍA (m/s)			PRESIÓN ENTRADA (m)	
	Sistema encontrado	Sistema propuesto	Je	Jp	J	Ve	Vp	V	Pe	Pp
Lateral	16 mm PR 35	12 mm PR 35	0,09	0,42	0,77	----	----	----	6,12	6,45
Múltiple	1/2" RDE 21	16 mm PR 35	0,08	0,39	0,63	----	----	----	7,00	7,64
Alimentación	1/2" RDE 21	16 mm PR 35	0,17	0,84	----	0,70	1,34	2,0 - 2,5	7,67	8,98

donde;

Je: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego encontrado

Jp: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego propuesto

P: Pérdidas teóricas permisibles para el diseño

Ve: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego encontrado

Vp: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego propuesto

V: Velocidades teóricas permisibles para diseño

Pe: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego encontrado

Pp: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego propuesto

#### 4.1.1.2 Presupuesto

Este presupuesto (Cuadro 10) se elaboró como muestra de costos para transferencia de tecnología, con la finalidad de que aprendices y visitantes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró difundan los conocimientos adquiridos mediante posibles replicas de los sistemas hidráulicos observados.

**Cuadro 10.** Detalles presupuesto del sistema de riego presente, inv. convencional

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA PRINCIPAL</b>				
Tubería PVC 1" RDE 21	ML	50	\$ 2.600	\$ 130.000
Tapón roscado 1"	UN	1	\$ 1.050	\$ 1.050
Adaptador macho 1"	UN	1	\$ 850	\$ 850
Te PVC 1"	UN	8	\$ 1.400	\$ 11.200
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 143.100</b>	
<b>TUBERIA DE ALIMENTACION</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	16	\$ 1.500	\$ 24.000
Te 90° PVC 1/2"	UN	8	\$ 800	\$ 6.400
Cinta teflón	UN	10	\$ 464	\$ 4.640
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
Válvulas	UN	8	\$ 12.500	\$ 100.000
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 232.646</b>	

**Cuadro 10.** Continuación

TUBERIA MULTIPLES				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	40	\$ 1.500	\$ 60.000
Silletas PR 35 16 mm	UN	40	\$ 1.100	\$ 44.000
Tapón roscado 1/2"	UN	16	\$ 280	\$ 4.480
Adaptador macho 1/2"	UN	16	\$ 850	\$ 13.600
Conector PR 35 16 mm	UN	40	\$ 1.100	\$ 44.000
Te PVC 1/2"	UN	40	\$ 800	\$ 32.000
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 198.080</b>		
TUBERIA LATERAL				
Cinta de goteo 16 mm/10cm	ML	800	\$ 350	\$ 280.000
Obturador 16 mm	UN	40	\$ 80	\$ 3.200
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 283.200</b>		
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 857.026</b>

Al efectuar los cambios propuestos en este sistema de riego por goteo, modificando la clase y diámetro de tubería, ya que el sistema se encuentra sobre diseñado, el costo de la instalación del sistema sería de \$ 777.826, notándose una reducción de \$79.200, económicamente significativos.



**Figura 4.** Sistema de riego por goteo, invernadero convencional

La vista en planta del diseño del sistema de riego por goteo encontrado en el invernadero convencional se presenta a continuación en la Figura 5 y para mayor detalle en el Plano 1.

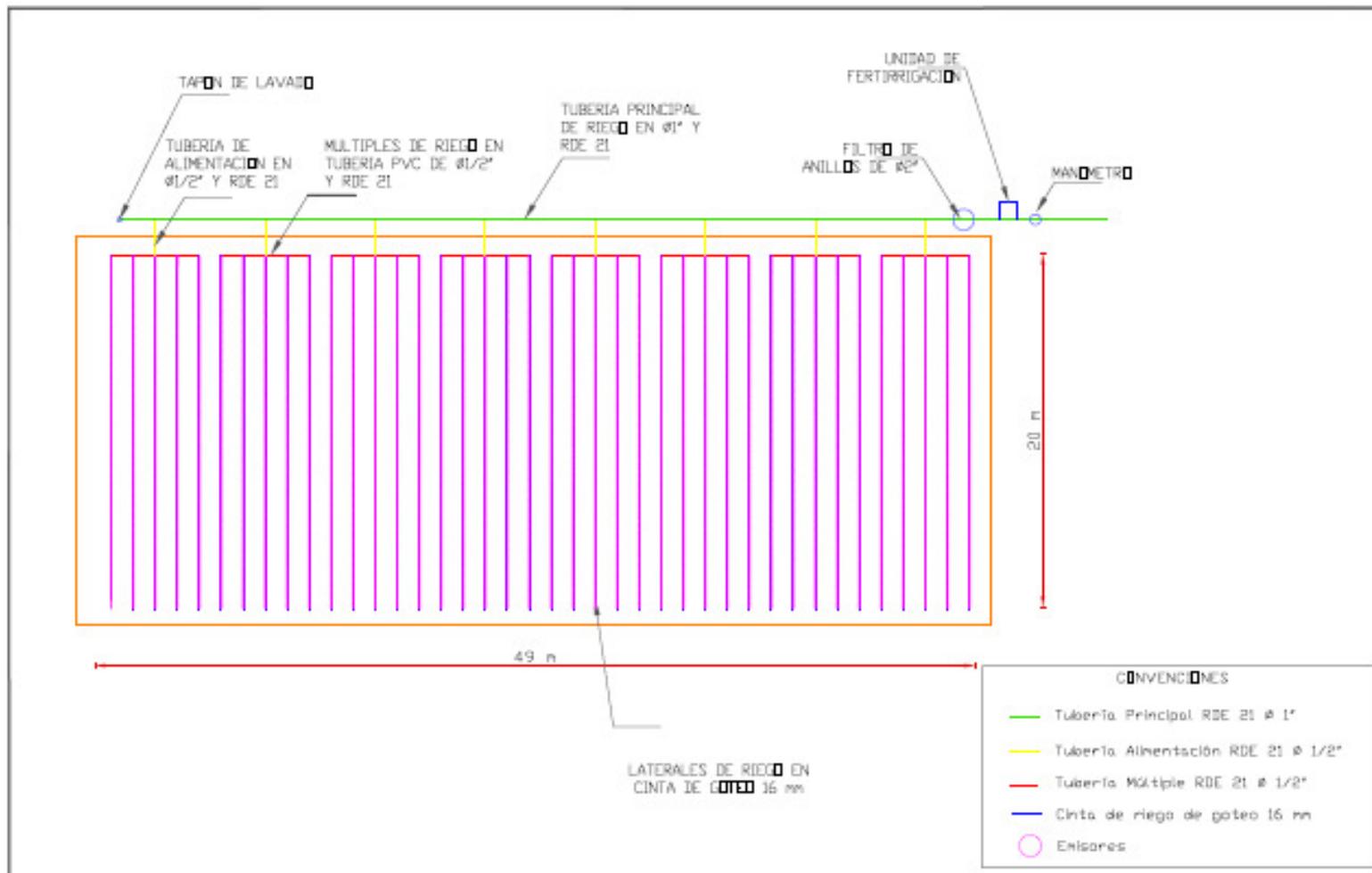


Figura 5. Vista en planta sistema de riego por goteo, invernadero convencional

#### 4.1.1.3 Cálculo del coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad se determinó mediante la aplicación de la ecuación matemática de *Christiansen*:

$$CU = 100 * \left( 1 - \left( \frac{|\Sigma Y|}{m * n} \right) \right)$$

donde;

Cu: Coeficiente de uniformidad de *Christiansen*, (%).

$\Sigma Y$ : Desviación estándar de cada una de las observaciones con respecto a la media.

m: Valor medio de las observaciones.

n: Número de observaciones.

Para este sistema de riego, con un total de 18 observaciones y una lámina de agua promedio de 1.35 mm durante un lapso de 60 segundos, el coeficiente de uniformidad calculado es:

$$CU = 100 * \left( 1 - \left( \frac{2,76}{1,35 * 18} \right) \right) = 88,67 \%$$

El valor de coeficiente de uniformidad obtenido se considera bueno, ya que se encuentra entre 80% y 90% de uniformidad de emisión, por lo cual se puede concluir que el sistema está operando eficientemente y que el espaciamiento entre unidades de descarga y laterales es correcto, garantizando un humedecimiento adecuado.

#### 4.1.2 Análisis estadístico

La Tabla 1 presenta los datos obtenidos de la evaluación de caudal (LPH) en goteros a partir de un muestreo realizado en tres sectores de riego y en tres posiciones a lo largo del lateral, ordenados en un arreglo factorial. Del total de muestra de cada tratamiento se obtuvieron tres submuestras, las cuales se

presentan como repeticiones (R) para el análisis de los datos. En el momento de la evaluación se operaron dos sectores de riego por turno.

**Tabla 1.** Caudal (LPH) en goteros seleccionados en un muestreo de acuerdo con la posición del sector de riego en el sistema y la posición del gotero en el lateral

Posición sector de riego	R	FACTOR B			TOTAL	MEDIA
		Posición en el lateral				
		b <sub>1</sub> (10%)	b <sub>2</sub> (40%)	b <sub>3</sub> (90%)		
a <sub>1</sub> (Inicial)	1	1,02	1,12	1,20	9,10	1,01
	2	0,72	1,08	1,32		
	3	0,80	0,94	0,90		
<b>TOTAL</b>		2,54	3,14	3,42		
<b>MEDIA</b>		0,85	1,05	1,14		
a <sub>2</sub> (Medio)	1	1,03	0,98	1,05	9,53	1,06
	2	1,08	0,90	1,14		
	3	1,09	1,10	1,16		
<b>TOTAL</b>		3,20	2,98	3,35		
<b>MEDIA</b>		1,07	0,99	1,12		
a <sub>3</sub> (Final)	1	1,25	1,27	1,30	10,29	1,14
	2	0,84	1,08	1,19		
	3	0,98	1,11	1,27		
<b>TOTAL</b>		3,07	3,46	3,76		
<b>MEDIA</b>		1,02	1,15	1,25		
<b>GRAN TOTAL</b>		8,81	9,58	10,53	28,92	
<b>MEDIAS GENERALES</b>		0,98	1,06	1,17		1,07

Para el desarrollo del análisis de varianza “ANDEVA” se procede a calcular:

- Factor de corrección (FC):

$$FC = \frac{Y^2 \dots}{R * A * B}$$

$$FC = \frac{(28,92)^2}{3 * 3 * 3} = 30,977$$

donde, Y significa el valor que incluye todos los valores correspondientes al ensayo, originados por la combinación de los factores A y B en los diferentes bloques, es decir tres (3) factores; se divide por el número de bloques R, niveles de A y niveles de B.

- Suma de cuadrados de los tratamientos (SCTr):

$$SCTr = \frac{\sum_{j,k} Yjk^2}{R} - FC$$

$$SCTr = \left[ \frac{2,54^2 + 3,14^2 + \dots + 3,46^2 + 3,76^2}{3} \right] - 30,977 = 0,318$$

- Suma de cuadrados del factor A (SCA):

$$SCA = \frac{\sum_j Yj^2}{R * B} - FC$$

$$SCA = \left[ \frac{9,10^2 + 9,53^2 + 10,29^2}{3 * 3} \right] - 30,977 = 0,081$$

- Suma de cuadrados del factor B (SCB):

$$SCB = \frac{\sum_i Yi^2}{R * A} - FC$$

$$SCB = \left[ \frac{8,81^2 + 9,58^2 + 10,53^2}{3 * 3} \right] - 30,977 = 0,165$$

- Suma de cuadrados de la iteración AB (SCAB):

$$SCAB = SCTr - SCA - SCB$$

$$SCAB = 0,318 - 0,081 - 0,165 = 0,073$$

- Suma de cuadrados total (SCT):

$$SCT = \frac{\sum_{i,j,k} Y_{ijk}^2}{R * A} - FC$$

$$SCT = (1,02^2 + 1,12^2 + \dots + 1,11^2 + 1,27^2) - 30,977 = 0,621$$

- Suma de cuadrados del error (SCE):

$$SCE = SCT - SCTr$$

$$SCE = 0,621 - 0,318 = 0,303$$

A continuación se encuentra la Tabla 2 donde se presenta el análisis de varianza para la variable caudal (LPH).

**Tabla 2.** Análisis de varianza para la variable caudal (LPH) de acuerdo con los factores motivo de estudio

<b>FUENTES DE VARIACIÓN</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft (5%)*</b>
<b>A</b>	2	0,081	0,040	4,79	3,26
<b>B</b>	2	0,165	0,082	9,80	3,26
<b>AB</b>	4	0,073	0,018	2,16	2,63
<b>ERROR</b>	36	0,303	0,008		
<b>TOTAL</b>	44	0,621			

\* Valores de  $F$ , estadística (Anexo H)

donde;

GL: Grados de libertad

SC: Suma de cuadrados

CM: Cuadrado medio

Fc: Fisher calculado

Ft: Factor de error para una probabilidad del 5 %

Finalizado el análisis de varianza (Tabla 2) se realiza la comparación (Prueba de Fisher) entre los  $F_c$  y  $F_t$  para cada factor y la interacción; como  $4,79 > 3,26$  con una probabilidad de error del 5% se nota una variación entre los sectores de riego (Factor A), la cual se adjudica a probables causas como: los goteros no son autocompensados; la influencia de la topografía, ya que el terreno no es 100% plano; las pérdidas de carga debido a la longitud de la tubería principal; acumulación de sedimentos; se presenta una longitud de hasta 40 m de separación entre dos (2) sectores de riego, debido a la localización de los mismos.

Debido a que  $9,80 > 3,26$  con una probabilidad de error del 5%, se concluye que el caudal de descarga de la unidad de riego varía en función de su ubicación sobre el lateral (Factor B).

Al interactuar el factor A con el factor B se nota que no hay variación significativa debido a que los caudales tienden a ser homogéneos en la misma posición de cada lateral de todos los sectores de riego.

Una vez analizada la información estadística y los datos en campo, se concluye que la desuniformidad en la emisión de flujo se debe principalmente a que los goteros son no autocompensados y los laterales están ubicados sobre surcos que presentan pendientes del orden del 5%. Otra posible causa es la obstrucción de los goteros debido a la acumulación de residuos sólidos que impiden el flujo normal del agua de riego.

Al realizar otro método de comparación (Prueba de Tukey) se definirá un solo comparador, que resulta del producto de la desviación estándar del error y un valor  $q$  (0,05) hallado con los GLE y el número de tratamientos (Anexo I).

Para ello se calcula la desviación estándar del error:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{CME}{r}} = \sqrt{\frac{0,008}{3}} = 0,052$$

donde;

$S_{\bar{x}}$ : Error experimental ajustado al tamaño de la muestra

CME: Cuadrado medio del error

r: Número de repeticiones

Posteriormente, se halla el comparador; con 36 GLE y con un número de Tr de 9, el valor hallado interpolando es 4,66, entonces se calcula el comparador:

$$CT = 0,052 * 4,66 = 0,242 \cong 0,24$$

donde;

CT: Grado comparador

Para la realización de la prueba se calculan las diferencias entre las medias de los tratamientos y a su vez estas diferencias se comparan con el valor de Tukey; al ser mayores estas diferencias que el comparador de Tukey existirá diferencia significativa (Tabla 3).

a<sub>1</sub> a<sub>2</sub> a<sub>3</sub> → Posición del sector de riego en el sistema.

b<sub>1</sub> b<sub>2</sub> b<sub>3</sub> → Posición del emisor en el lateral.

**Tabla 3.** Diferencia de medias para la variable caudal (LPH)

		<b>a<sub>3</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>3</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>1</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>2</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>2</sub>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>1</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub>b<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>1</sub>b<sub>1</sub></b>
		<b>1,25</b>	<b>1,15</b>	<b>1,14</b>	<b>1,12</b>	<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	<b>1,02</b>	<b>0,99</b>	<b>0,85</b>
<b>a<sub>3</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>1,25</b>	0,00	0,10	0,11	0,14	0,19	0,21	0,23	0,26*	0,41*
<b>a<sub>3</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>1,15</b>		0,00	0,01	0,04	0,09	0,11	0,13	0,16	0,31*
<b>a<sub>1</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>1,14</b>			0,00	0,02	0,07	0,09	0,12	0,15	0,29*
<b>a<sub>2</sub>b<sub>3</sub></b>	<b>1,12</b>				0,00	0,05	0,07	0,09	0,12	0,27*
<b>a<sub>2</sub>b<sub>1</sub></b>	<b>1,07</b>					0,00	0,02	0,04	0,07	0,22
<b>a<sub>1</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>1,05</b>						0,00	0,02	0,05	0,20
<b>a<sub>3</sub>b<sub>1</sub></b>	<b>1,02</b>							0,00	0,03	0,18
<b>a<sub>2</sub>b<sub>2</sub></b>	<b>0,99</b>								0,00	0,15
<b>a<sub>1</sub>b<sub>1</sub></b>	<b>0,85</b>									0,00

\* Diferencia significativa.

Al efectuar el análisis múltiple de medias mediante la prueba de Tukey se determinó que los promedios entre medias son similares debido a que la diferencia entre ellos es inferior al valor comparador (0,24) en la mayoría de los casos.

Se encontró diferencia estadísticamente significativa en las posiciones a<sub>1</sub> y a<sub>3</sub>, debido a que la variable caudal (LPH), muestra que los valores más bajos se

obtienen en la posición a<sub>1</sub> (0,85) y los más elevados en la posición a<sub>3</sub> (1,25). Considerando estos valores como extremos, se nota diferencia significativa en la ubicación a1b1, es decir, los valores más bajos de caudal (LPH) se presentan en la posición inicial del sector de riego (a1) y en la posición inicial del lateral (b1).

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{X_{gral}} * 100$$
$$CV = \frac{\sqrt{0,008}}{1,07} * 100 = 8,36\%$$

donde;

CV: Coeficiente de variación

CME: Cuadrado medio del error

X gral: Media general

El CV calculado indica que la toma de muestras se realizó correctamente, ya que un CV superior al 13% indica errores en la toma de muestras y un CV inferior al 8% indica que los valores son muy homogéneos y no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

La Tabla 4 presenta los datos obtenidos de la evaluación de presión (PSI) medida a la salida de los laterales para los diferentes tratamientos; esta medida fue registrada en el obturador (Figura 6), debido a que las condiciones para la medición de la presión en los goteros se dificultaba. Además se realizó la lectura de un manómetro ubicado en la entrada del sistema de riego (Figura 7), el cual mostraba una presión de 32 PSI.



**Figura 6.** Medida de presión al final del lateral



**Figura 7.** Medida de presión a la entrada del sistema de riego

Al igual que en el análisis de caudal, se tomaron 3 submuestras del total de muestras y se presentan como repeticiones (R) para el análisis de los datos. En la evaluación de presión se estimó la posición del sector de riego en el sistema (Factor A).

**Tabla 4.** Presión a la salida del lateral (PSI) tomada de un muestreo donde se evaluó la posición del sector de riego en el sistema

<b>FACTOR A</b> Posición sector de riego	<b>R</b>	<b>FINAL DEL LATERAL</b> (Obturador)	<b>TOTAL</b>	<b>MEDIA</b>
Inicial	1	19,0	60,0	20,0
	2	21,0		
	3	20,0		
Medio	1	18,0	59,0	19,7
	2	20,0		
	3	21,0		
Final	1	19,0	59,0	19,7
	2	20,0		
	3	20,0		
<b>TOTAL</b>			178,0	
<b>MEDIA</b>				19,8

Se puede apreciar que no se presenta diferencia significativa en los tres tratamientos, lo que indica que las posiciones de los laterales son estadísticamente iguales y no afectan la presión de trabajo de los goteros, por ende, la presión no está causando complicaciones dentro del sistema.

Se observa que entre la entrada del sistema de riego y el final del lateral se presenta una pérdida de presión de aproximados 12 PSI, lo cual se atribuye a pérdidas en la unidad de filtrado, pérdidas por fricción dentro de la tubería, por accesorios y cambios de dirección.

En la Tabla 5 se presentan los estadígrafos para la variable coeficiente de uniformidad (Cu%) ordenados en un arreglo factorial, donde se pueden observar los contrastes de los efectos de los factores motivo de estudio.

**Tabla 5.** Estadígrafos para la variable coeficiente de uniformidad (Cu%) en goteros seleccionados en un muestreo de acuerdo con la posición del sector de riego y la posición en el lateral

FACTOR A Posición sector de riego	R	FACTOR B Posición en el lateral			$\bar{X}$	S	CV
		b <sub>1</sub> (10%)	b <sub>2</sub> (40%)	b <sub>3</sub> (90%)			
		a <sub>1</sub> (Inicial)	1 2 3	99,83 99,56 99,32			
a <sub>2</sub> (Medio)	1 2 3	99,78 99,94 100,00	99,61 99,11 98,89	99,63 98,92 99,35	99,47	0,84	0,85
a <sub>3</sub> (Final)	1 2 3	98,76 99,21 99,08	99,53 99,82 99,41	98,94 99,67 99,52	99,33	0,70	0,71
$\bar{X}$		99,50	99,23	99,31			
S		0,86	0,77	0,70			
CV		0,86	0,77	0,70			

Se concluye que la mayor uniformidad se presenta en la segunda posición del sector de riego (a<sub>2</sub>) ya que registra la media ( $\bar{X}$ ) más elevada de 99,47%, pero la tercera posición (a<sub>3</sub>) es la que presenta mayor homogeneidad en los datos, con un coeficiente de variación (CV) de 0,71%.

Respecto a la segunda variable, posición en el lateral, se observa que la primer posición (b<sub>1</sub>) presenta mayor uniformidad, debido a que registra una media ( $\bar{X}$ ) de 99,50%, y la homogeneidad más elevada se refleja en la tercera posición (b<sub>3</sub>), con un coeficiente de variación (CV) de 0,70%.

Los anteriores resultados indican que las unidades de descarga (goteros) presentes en este sistema exhiben un elevado grado de uniformidad.

## 4.2 INVERNADERO AUTOMATIZADO

Esta unidad productiva es un ambiente donde se desarrollan los procesos de aprendizaje concernientes a los sistemas de riego.

Este invernadero cuenta con un sensor de temperatura que transmite la información a un controlador y este a su vez se programa con una temperatura óptima para el desarrollo del cultivo (25°C), cuando la temperatura en el interior del invernadero no se encuentra dentro del rango programado (1 °C de margen) el dispositivo abre o cierra las ventanas para regular el ambiente y buscar dicha temperatura. Además, hay sensores de lluvia y viento, estos según el ambiente exterior envían la información al controlador, el cual está previamente programado con unos límites de velocidad del viento e intensidad de precipitación generando el cierre de las ventanas del invernadero automatizado como medio de protección para el cultivo.

Esta unidad productiva presenta un sistema de riego por microaspersión aérea (Figura 11), seguidamente se presenta la evaluación aplicada a este sistema.



**Figura 8.** Sistema de riego por microaspersión aérea, invernadero automatizado

Se calculó el coeficiente de uniformidad mediante la aplicación de la ecuación matemática de *Christiansen*, dicho cálculo se realizó para este sistema de irrigación durante cinco minutos, variando número de unidades de descarga activas; 18, 20 y 21 microaspersores:

$$CU = 100 * \left( 1 - \left( \frac{|\Sigma Y|}{m * n} \right) \right)$$

donde;

Cu: Coeficiente de uniformidad de *Christiansen*, (%).

$\Sigma Y$ : Desviación de cada una de las observaciones con respecto a la media.

m: Valor medio de las observaciones.

n: Número de observaciones.

Coeficiente de uniformidad calculado con 18 microaspersores activos

$$CU = 71,6\%$$

Coeficiente de uniformidad calculado con 20 microaspersores activos

$$CU = 73,2\%$$

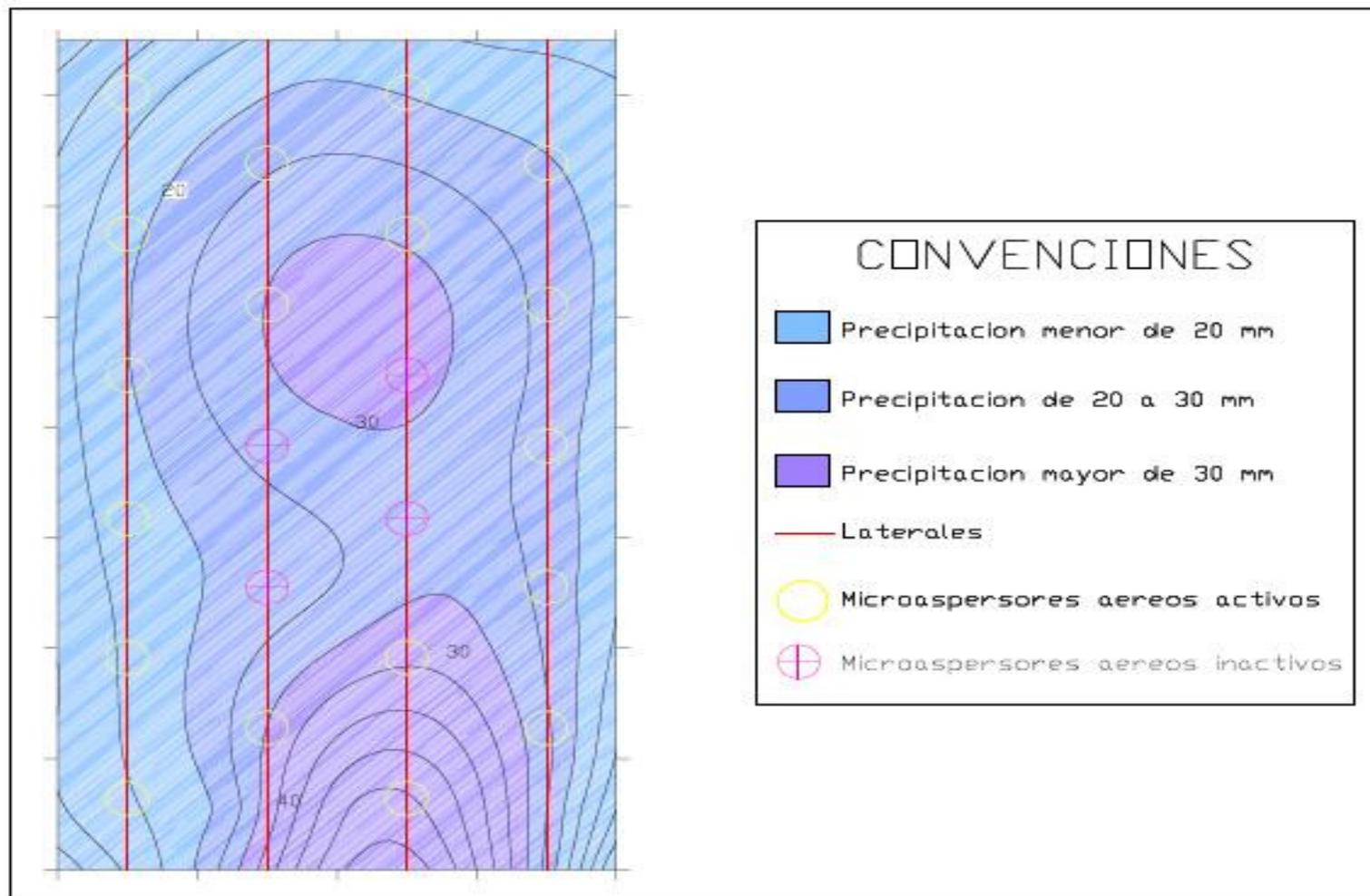
Coeficiente de uniformidad calculado con 21 microaspersores activos

$$CU = 78,3\%$$

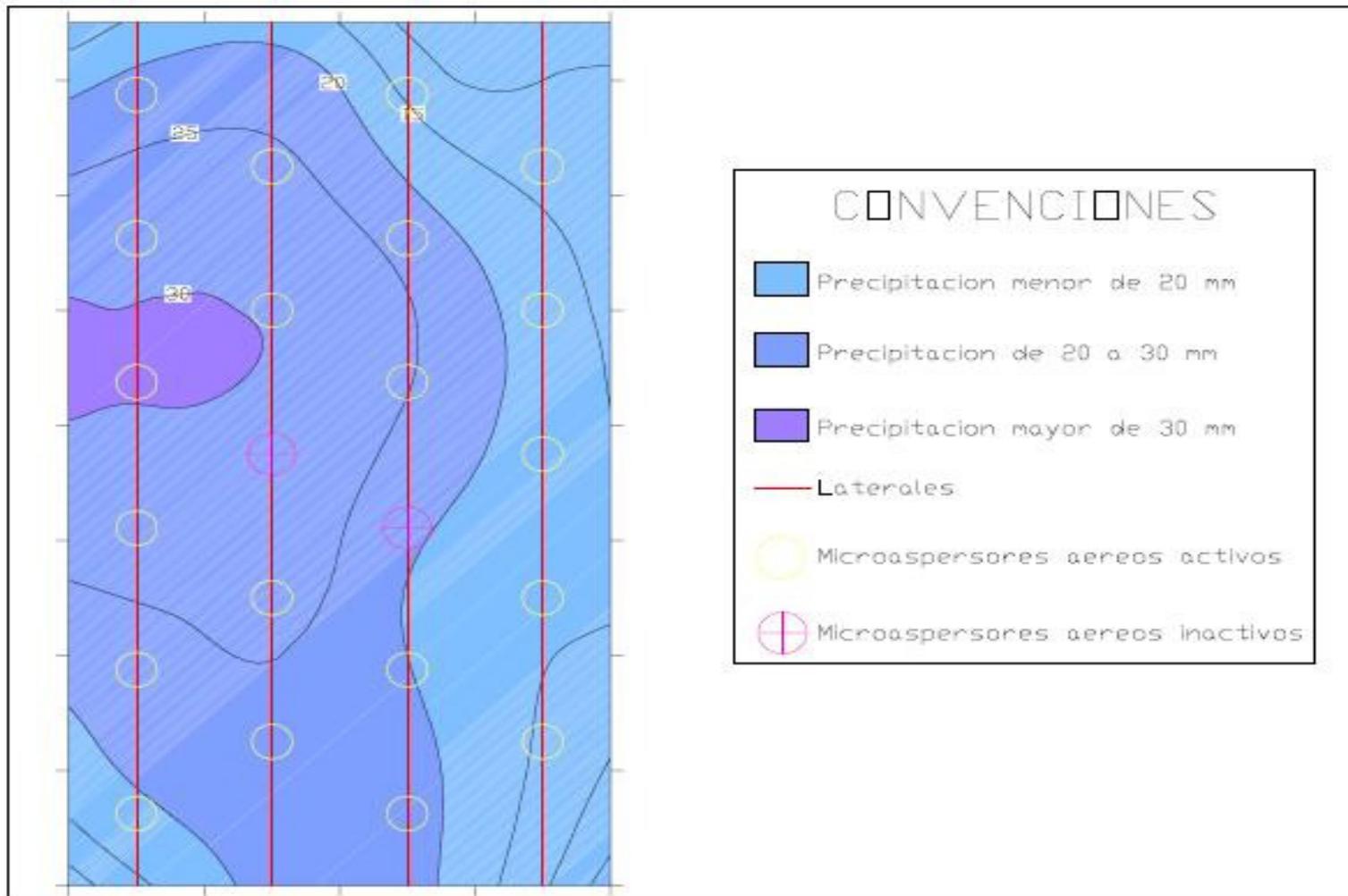
Los resultados obtenidos permiten observar que la mayor uniformidad se presenta operando el sistema de riego con 21 microaspersores, donde las isoyetas obtenidas de acuerdo a la precipitación durante cinco minutos muestran una mayor uniformidad de la distribución del agua de riego en comparación con la distribución presentada con 18 y 20 unidades de descarga.

Lo anterior se puede ver reflejado en el Plano 2, donde se ilustra la distribución pluviométrica (isoyetas) del sistema de riego por microaspersión de la unidad productiva invernadero automatizado y en las Figuras 9, 10 y 11 con 18, 20 y 21 unidades de descarga activas respectivamente.

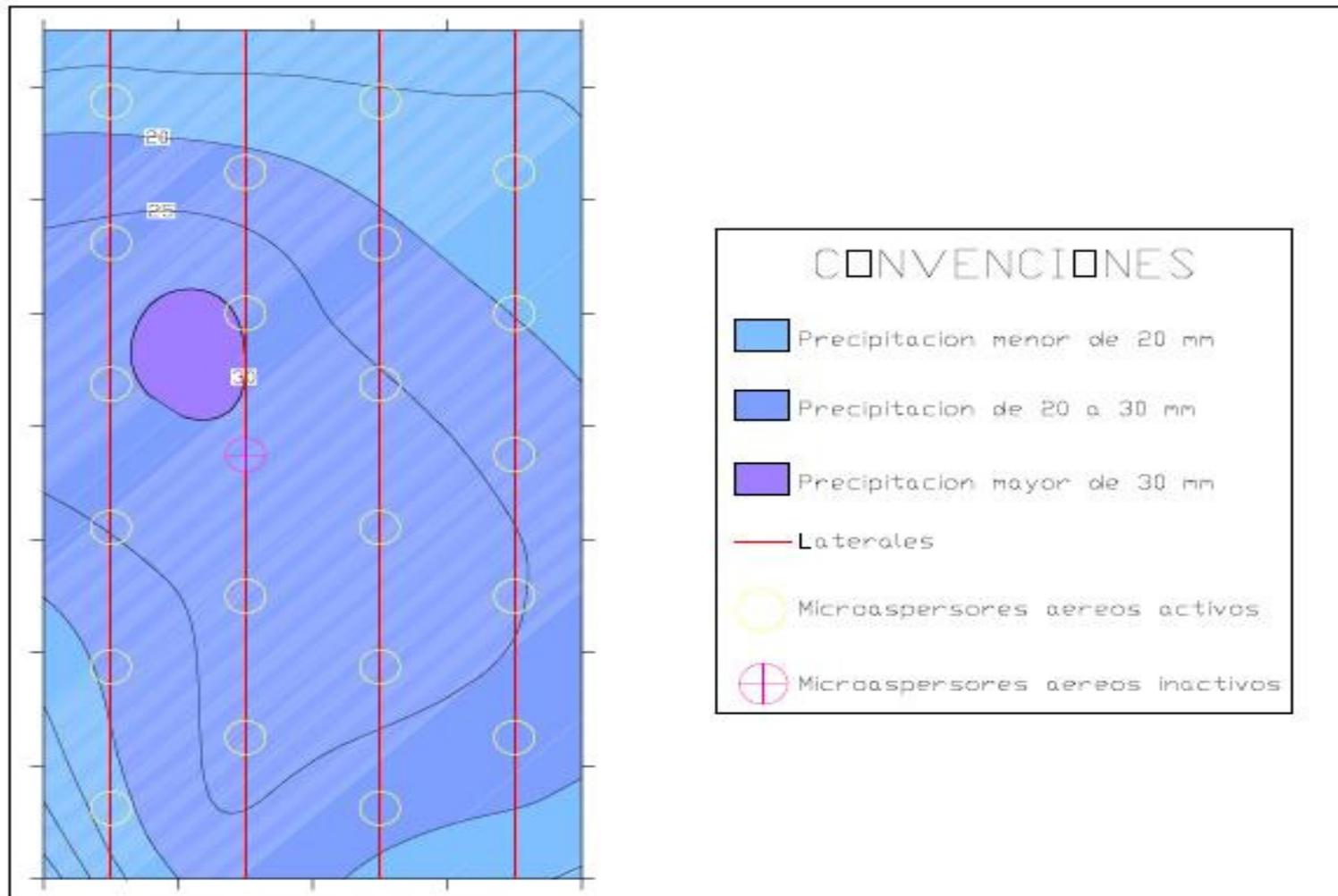
La vista en planta del sistema de riego por microaspersión aérea encontrado en la unidad productiva invernadero automatizado se puede observar en la Figura 12 y en el Plano 3.



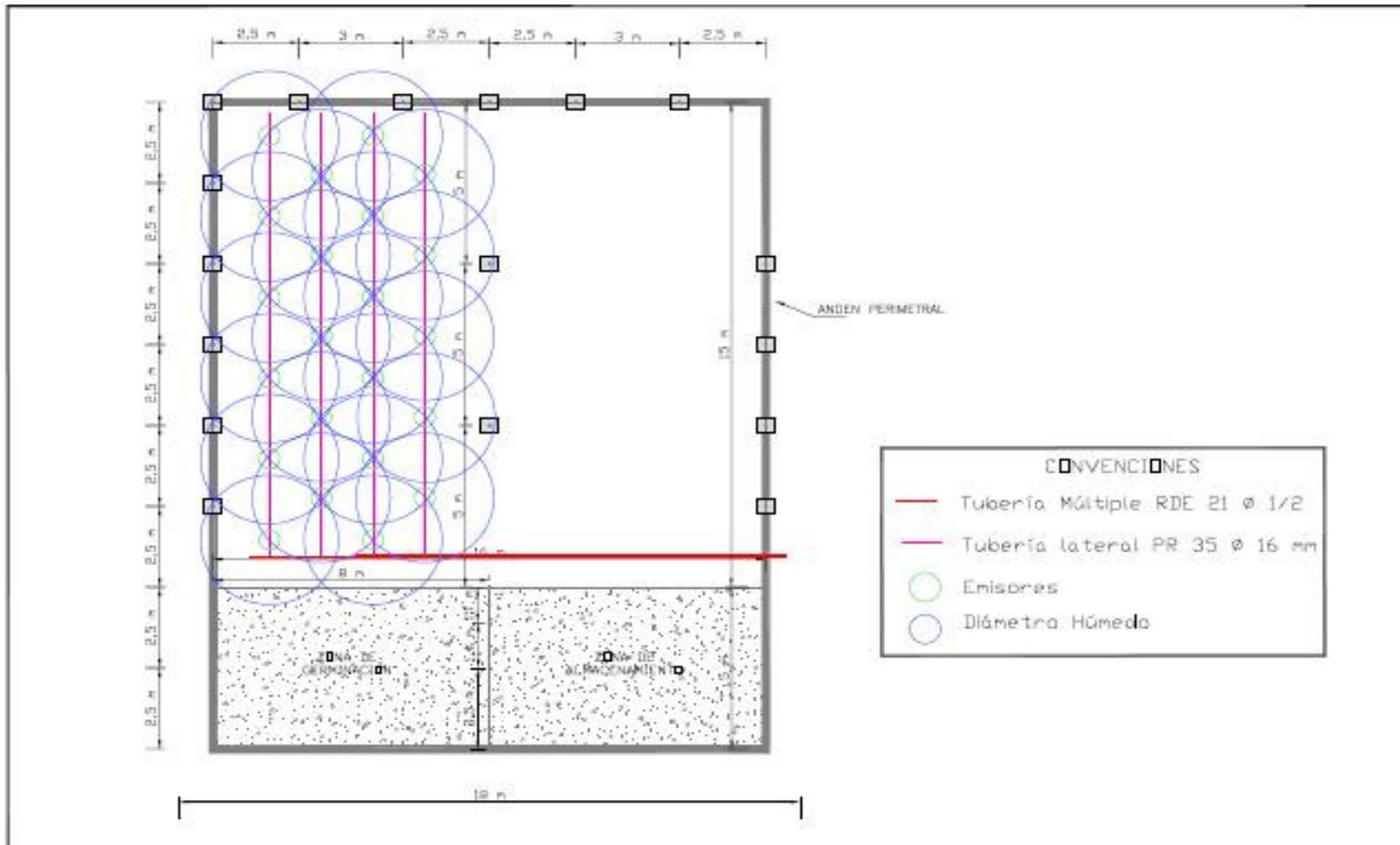
**Figura 9.** Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 18 microaspersores



**Figura 10.** Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 20 microaspersores



**Figura 11.** Distribución pluviométrica (isoyetas) aplicada durante 5 minutos de riego con 21 microaspersores



**Figura 12.** Vista en planta sistema de riego por microaspersión aérea, invernadero automatizado

### 4.3 VIVERO

Esta unidad productiva contaba con un sistema de riego por microaspersión, al realizar la evaluación hidráulica se detectó que presentaba falencias como fugas, taponamiento, unidades de descarga faltantes, líneas hidráulicas en ubicaciones inadecuadas y deterioradas debido a la exposición solar y a su tiempo de funcionamiento (Figura 13).



**Figura 13.** Anterior sistema de riego por microaspersión, vivero

Debido a lo anteriormente descrito, se optó por hacer nuevamente el diseño e instalación de un sistema de riego por microaspersión aérea. A continuación se presentan los respectivos cálculos hidráulicos.

#### 4.3.1 Cálculos hidráulicos

##### ➤ Cálculo del lateral

El Cuadro 11 presenta los cálculos hidráulicos para la tubería lateral del sistema de riego del vivero.

**Cuadro 11.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad microaspersión

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Microaspersión	Huerto:	Vivero	Sector de riego:	1
Boquilla emisor (color):	Amarilla	Especie:	Forestales	Fuente:	El Maco
Presión de trabajo (PSI):	21,30	Distancia de siembra (m):	0,2 x 0,2	Caudal disponible (GPM):	15,85
Diámetro húmedo (m):	2,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	2,83
Caudal (LPH) = Qur:	16,07	Q (unitario) (LPM):	0,27	Caudal/árbol (LPH) máx.:	0,64
Forma de trabajo:	No Autocompensado	Unidades riego/árbol:	0,04	Distancia entre emisores (EL) (m):	2,00
4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES				VALORES	
$J = (F)(L)(j)$					
Na = número de árboles a beneficiar:				300,00	
Nur = número de unidades de riego por lateral = N° de salidas:				8	
θ = diámetro y RDE tubería:				16 mm; PR 35	
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):				0,435	
Q = caudal total a conducir = (N° unidades de riego)*(Q unitario)(LPM):				2,14	
Ns = numero de espacios entre unidades de riego:				7	
EL = espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m):				2,00	
Ti = tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):				0,500	
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):				0,700	
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EL)+(Ti)+(Tf):				15,20	
Le = longitud equivalente por conexión de unidad de riego al lateral 0,05-0,2 m:				0,20	
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):				15,40	
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 4):				0,0092	
$J = (F)(L)(j)$ (m):				0,062	
J permisible (55% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)				1,65	
CHEQUEO $J \leq J$ permisible				<b>VERDADERO</b>	

**Cuadro 11.** Continuación

5. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)			
PRESIÓN A LA ENTRADA (PEL)		PRESIÓN A LA SALIDA (PSL)	
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES
Pur = presión unidad de riego (m):	14,97	PEL = presión entrada lateral (m):	14,97
J = pérdidas totales (m):	0,062	J = pérdidas totales (m):	0,06
$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	-0,5	$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	0,5
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (m):	14,53	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (m):	15,41
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (PSI):	20,68	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (PSI):	21,92
6. TAMAÑO DEL LATERAL			
PARA CALCULO DE DISEÑO (TL)		PARA TRAZADO GRAN LATERAL EN EL LOTE (TGL)	
TL = (N° de espacios entre unidades de riego)*(Distancia de siembra)+(Tramo final)+(Tramo inicial) (m)		TL = (N° de espacios entre unidades de riego)*(Distancia de siembra)+(Longitud de influencia)*(2); longitud de influencia = (1/2)(EL) (m)	
15,20		16,00	

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Cálculo del múltiple**

Seguidamente se ilustran en el Cuadro 12 los cálculos hidráulicos de la tubería del múltiple.

**Cuadro 12.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad microaspersión

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Microaspersión	Huerto:	Vivero	Sector de riego:	1
Boquilla emisor (color):	Amarilla	Especie:	Forestales	Total U.R del gran lateral:	8,00
Presión de trabajo (PSI):	21,30	Distancia de siembra:	0,2 x 0,2	Caudal disponible (GPM):	15,85
Diámetro húmedo (m):	2,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	2,83
Caudal (LPH) = Qur:	16,07	Q (unitario) (LPM):	0,27	Caudal/árbol (LPH) máx.:	0,64
Forma de trabajo:	No Autocompensado	Unidades riego/árbol:	0,04	Distancia entre emisores (EL) (m):	2,00

**Cuadro 12.** Continuación

<b>4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>			
<b>VARIABLES</b>		<b>CONEXIÓN</b>	
$J = (F)(L)(j)$		<b>100%</b>	<b>50%</b>
Nu.r.= número de unidades de riego x sector de riego = $Qs.r / Qu.r$ (LPH)		40,00	20,00
N° de surcos o líneas de riego x sector de riego (SR) = (total U.R del S.R) / (total U.R del gran lateral)		5	3
$\theta$ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):		1/2"; RDE 21	1/2"; RDE 21
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):		0,457	0,535
Ns = numero de espacios entre surcos:		7	3
EM = espaciamiento entre surcos o líneas de riego sobre el múltiple (m):		1,90	1,90
Ti = tramo inicial desde la conexión hasta el primer surco (m):		0,90	0,45
Tf = tramo final medido desde la conexión del último surco hasta el tapón de lavado (m):		0,65	0,65
Lr = longitud real (m) = $(Ns)*(EM)+(Ti)+(Tf)$ :		14,85	7,43
Le = longitud equivalente por conexión de laterales al múltiple 0,25 m para silletas de 12 mm y 0,5 m para silletas de 16 mm :		0,50	0,50
L = longitud total (m) $(Lr)+(Le)$ :		15,35	7,93
Q = caudal de diseño (GPM) y / o para calculo:		2,83	1,42
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):		0,0356	0,0175
$J = (F)(L)(j)$ (m):		0,25	0,07
J permisible (45% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)		1,35	1,35
CHEQUEO $J \leq J$ permisible		<b>VERDADERO</b>	<b>VERDADERO</b>
<b>5. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DEL MÚLTIPLE PREM (m)</b>			
<b>PREM = pérdidas totales múltiple (J) + presión entrada lateral (PEL) + - <math>\Delta H</math> terreno (<math>\Delta H</math>)</b>			
<b>PREM (PSI)</b>		<b>PREM (m)</b>	
21,71		15,26	
<b>PRESIÓN ENTRADA DEL LATERAL (m)</b>		<b><math>\Delta H</math> terreno (<math>\Delta H</math>) (m)</b>	
14,51		0,50	
<b>6. TAMAÑO DEL MÚLTIPLE</b>			
<b>PARA CALCULO DE DISEÑO (TM)</b>		<b>PARA TRAZADO GRAN MÚLTIPLE EN EL LOTE (TGM)</b>	
TM = longitud real (Lr) (m)		TL = $(N^\circ \text{ de espacios entre surcos}) * (\text{Distancia entre surcos}) + (\text{Longitud de influencia}) * (2)$ ; longitud de influencia = $(1/2)(EM)$ (m)	
<b>100% (m)</b>	14,85	<b>100% (m)</b>	15,20
<b>50 % (m)</b>	7,43	<b>50 % (m)</b>	2,61

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Cálculo tubería de alimentación**

El Cuadro 13 refleja los cálculos hidráulicos de la tubería de alimentación del sistema de riego por microaspersión de la unidad productiva vivero.

**Cuadro 13.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería alimentación "método múltiples salidas"

1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)				
VARIABLES			VALORES	
$J1 = (F)(L)(j)$				
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):			1/2"; RDE 21	
F = depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar y / o salidas tubería de alimentación) (Tabla N° 1)			0,639	
Q = caudal total a conducir = Σ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):			5,66	
Lr = longitud real : desde conexión sobre la principal hasta conexión del último sector de riego a beneficiar (m)			11,00	
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)			1,30	
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):			12,30	
j = perdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):			0,0356	
$J1 = (F)(L)(j)$ (m):			0,28	
1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)				
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q(GPM)	Le (m)
Te activa	1	1/2"	2,83	1,00
Te pasiva	1	1/2"	2,83	0,30
<b>SUMATORIA Le (m)</b>		1,30		
1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS				
VARIABLES			VALORES	
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1/2"	
RDE tubo:			21	
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00130	
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,02134	
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,01874	
R = radio interno (m):			0,00937	
$A = \text{Área tubo} = (\pi)(R^2)$ (m²):			0,00027582	
Q = caudal (m3/seg):			0,0003570	
$V = Q/A$ (m/seg):			1,29	
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,50	
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:			<b>VERDADERO</b>	

### Cuadro 13. Continuación

2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA ALIMENTACION PREM (m)	
PREA = pérdidas totales tubería principal (J) + presión requerida entrada tubería principal crítica (PREM) + - $\Delta H$ terreno ( $\Delta H$ )	
PREA (PSI)	PREA (m)
22,82	16,04
PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA DEL MÚLTIPLE (m)	$\Delta H$ terreno ( $\Delta H$ ) (m)
15,26	0,5

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

Según los cálculos hidráulicos, este sistema de riego por microaspersión cuenta con diámetros de tubería apropiados, ya que garantizan pérdidas, velocidades de tubería y presiones permisibles. Presenta un funcionamiento adecuado, la tubería y accesorios hidráulicos exhiben buen estado (Figura 14).



**Figura 14.** Nuevo sistema de riego por microaspersión, vivero

Sin embargo, este sistema se halla sobrediseñado, debido a que su instalación se realizó con los materiales disponibles en la bodega del Tecnoparque 7, por tal razón se emplearon diámetros de tuberías que podrían haber sido menores con la finalidad de reducir costos, ya que las condiciones hidráulicas lo permiten.

Lo cual no implica que el sistema de riego por microaspersión aérea instalado presente un funcionamiento inadecuado.

El siguiente cuadro comparativo (Cuadro 14) muestra las condiciones hidráulicas del sistema diseñado e instalado y las del sistema óptimo en cuanto al aspecto económico.

**Cuadro 14.** Comparación de las condiciones hidráulicas, vivero

TUBERÍA	CLASE Y DIÁMETRO DE TUBERÍA		PÉRDIDAS DE CARGA (m)			VELOCIDAD DE TUBERÍA (m/s)			PRESIÓN ENTRADA (m)	
	Sistema instalado	Sistema óptimo	Ji	Jo	J	Vi	Vo	V	Pi	Po
Lateral	16 mm PR 35	12 mm PR 35	0,06	0,31	1,65	----	----	----	14,53	14,78
Múltiple	1/2" RDE 21	16 mm PR 35	0,25	1,09	1,35	----	----	----	15,26	16,10
Alimentación	1/2" RDE 21	16 mm PR 35	0,28	4,09	----	1,29	2,46	2,0 - 2,5	16,04	19,85

donde;

Ji: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

Jo: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

P: Pérdidas teóricas permisibles para el diseño

Vi: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

Vo: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

V: Velocidades teóricas permisibles para diseño

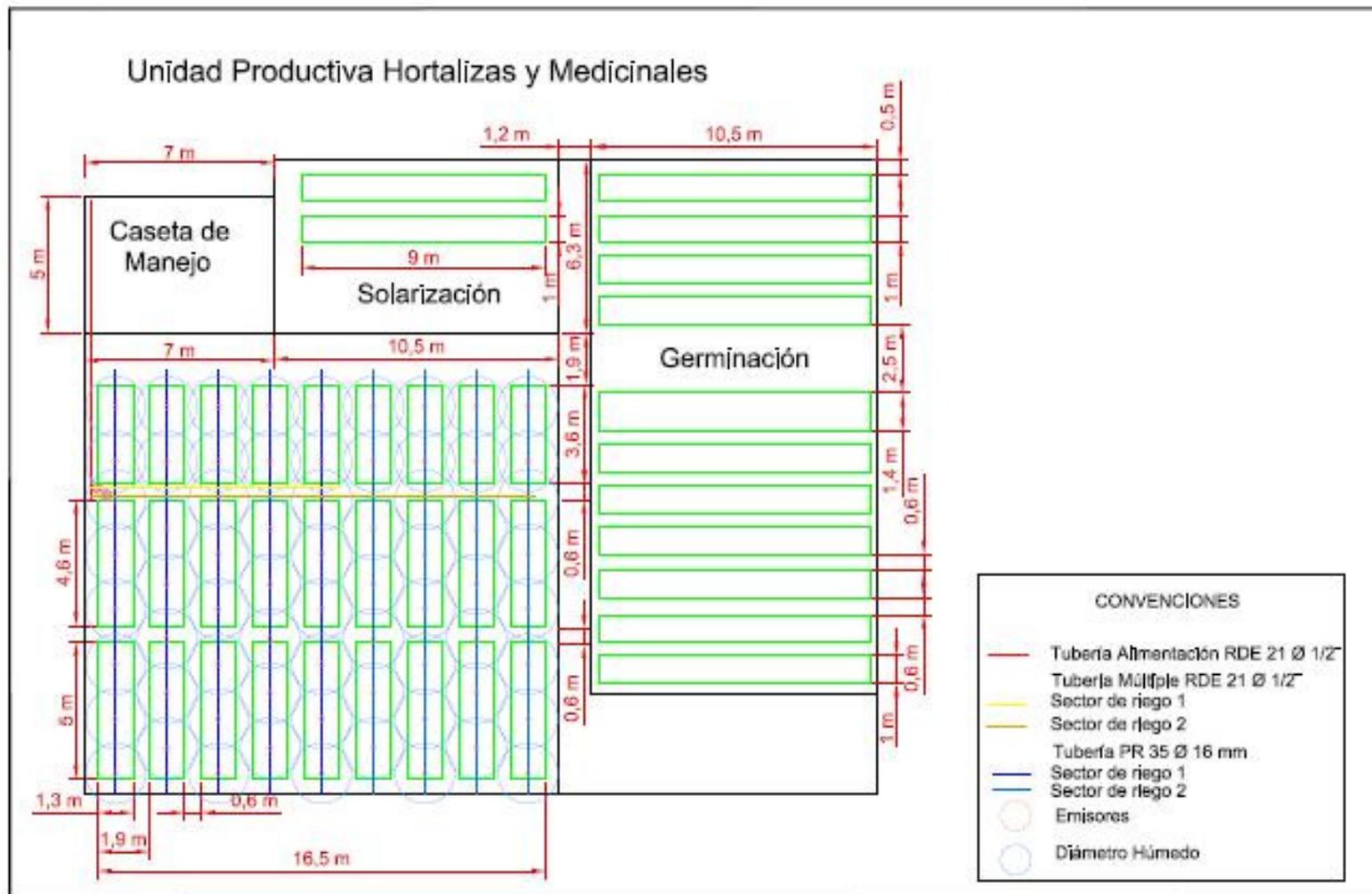
Pi: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego instalado

Po: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego óptimo

La vista en planta del sistema de riego por microaspersión diseñado e instalado en la unidad productiva vivero se presenta en la Figura 15 y para su mayor detalle en el Plano 3.

#### 4.3.2 Presupuesto

Seguidamente se presenta el costo aproximado de la instalación del sistema de riego por microaspersión en la unidad productiva vivero del Tecnoparque 7 (Cuadro 15).



**Figura 15.** Vista en planta sistema de riego por microaspersión, vivero

**Cuadro 15.** Detalles presupuesto del sistema de riego instalado, vivero

DESCRIPCIÓN	UNDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA DE ALIMENTACION</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	12	\$ 1.500	\$ 18.000
Te PVC 1/2"	UN	2	\$ 800	\$ 1.600
Tapón roscado 1/2"	UN	1	\$ 300	\$ 300
Adaptador macho 1/2"	UN	1	\$ 900	\$ 900
Válvulas 1/2"	UN	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Cinta teflón	UN	10	\$ 464	\$ 4.640
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 120.046</b>			
<b>TUBERIA MULTIPLES</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	50	\$ 1.500	\$ 75.000
Silletas PR 35 16 mm	UN	20	\$ 1.100	\$ 22.000
Tapón roscado 1/2"	UN	2	\$ 300	\$ 600
Adaptador macho 1/2"	UN	2	\$ 900	\$ 1.800
Te PVC 1/2"	UN	20	\$ 800	\$ 16.000
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 115.400</b>			
<b>TUBERIA LATERAL</b>				
Tubería PR 35 16 mm	ML	150	\$ 1.100	\$ 165.000
Obturador 16 mm	UN	20	\$ 100	\$ 2.000
Microaspersores	UN	70	\$ 500	\$ 35.000
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 202.000</b>			
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 437.446</b>

Si este sistema se hubiera instalado con diferente clase y diámetro de tubería, según lo permitían las condiciones hidráulicas, se reduciría su costo un 15%, es decir alrededor de \$ 65.000.

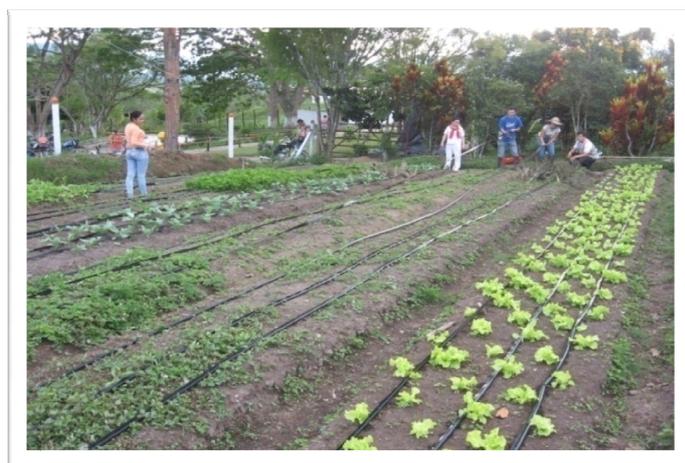
#### 4.4 HORTALIZAS

Al efectuar la evaluación hidráulica de esta unidad productiva, se encontró un sistema de riego por goteo en cinta de riego, en pésimas condiciones, debido a exposición solar, tiempo de uso, taponamiento y fugas (Figura 16).



**Figura 16.** Anterior sistema de riego por goteo, hortalizas

Por lo tanto, se realizó el diseño e instalación de un nuevo sistema de riego por goteo en cinta de riego, el cual presenta 4 sectores de riego, cada uno consta de 12 eras, estas a su vez presentan 3 laterales que cubren las necesidades hídricas de hortalizas como lechuga, repollo, cebolla, acelga, arveja (Figura 17).



**Figura 17.** Nuevo sistema de riego por goteo, hortalizas

#### 4.4.1 Cálculos hidráulicos

##### ➤ Cálculo del lateral

A continuación se presentan los cálculos hidráulicos de la tubería lateral del sistema de riego por goteo en la unidad productiva hortalizas (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Hortalizas	Sector de riego:	1
Emisor :	Cinta goteo	Especie:	Varias	Fuente:	El Maco
Presión de trabajo (PSI):	10,00	Distancia de siembra (m):	0,20	Caudal disponible (GPM):	15,85
Diámetro húmedo (m):	0,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	8,32
Caudal (LPH) = Qur:	0,70	Q unitario (LPM)	0,01	Caudal/árbol (LPH) máx.:	1,40
Forma de trabajo:	No Autocom.	Unidades riego/árbol:	2,00	Distancia entre emisores (EL) (m):	0,10
4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES				VALORES	
$J = (F)(L)(j)$					
Na = número de árboles a beneficiar:				1800,00	
Nur = número de unidades de riego por lateral = N° de salidas:				150	
θ = diámetro y RDE tubería:				16 mm PR 35	
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):				0,351	
Q = caudal total a conducir = (N° unidades de riego)*(Q unitario) (LPM):				1,75	
Ns = numero de espacios entre unidades de riego:				149	
EL = espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m):				0,10	
Ti = tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):				0,10	
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):				0,10	
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EL)+(Ti)+(Tf):				15,10	
Le = longitud equivalente por conexión de unidad de riego al lateral 0,05-0,2 m:				0,20	
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):				15,30	
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 4):				0,0067	
$J = (F)(L)(j)$ (m):				0,04	
J permisible (55% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)				0,77	
CHEQUEO $J \leq J$ permisible				<b>VERDADERO</b>	

**Cuadro 16.** Continuación

5. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)			
PRESIÓN A LA ENTRADA (PEL)		PRESIÓN A LA SALIDA (PSL)	
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES
Pur = presión unidad de riego (m):	7,03	PEL = presión entrada lateral (m):	7,06
J = pérdidas totales (m):	0,04	J = pérdidas totales (m):	0,04
$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	0	$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	0
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (m):	7,06	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (m):	7,03
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (PSI):	10,05	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (PSI):	10,00
6. TAMAÑO DEL LATERAL			
PARA CALCULO DE DISEÑO (TL)		PARA TRAZADO GRAN LATERAL EN EL LOTE (TGL)	
TL = (N° de espacios entre unidades de riego)*(Distancia de siembra)+(Tramo final)+(Tramo inicial) (m)		TL = (N° de espacios entre unidades de riego)*(Distancia de siembra)+(Longitud de influencia)*(2); longitud de influencia = (1/2)(EL) (m)	
15,10		15,00	

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

➤ **Calculo del múltiple**

En el Cuadro 17 se muestran los cálculos hidráulicos de la tubería del múltiple.

**Cuadro 17.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un múltiple en el sistema de riego localizado modalidad goteo – pulsador

1. UNIDAD DE RIEGO		2. CULTIVO		3. ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Hortalizas	Sector de riego:	1
Emisor:	Cinta de goteo	Especie:	Varias	Total U.R del gran lateral:	150,00
Presión de trabajo (PSI):	10,00	Distancia de siembra (m):	0,20	Caudal disponible (GPM):	15,85
Diámetro húmedo (m):	0,20	Forma de siembra	Cuadro	Caudal sector de riego Qsr (GPM):	8,32
Caudal (LPH) = Qur:	0,70	Q (unitario) LPM	0,01	Caudal/árbol (LPH) máx.:	1,40
Forma de trabajo:	No Autocomp.	Unidades riego/árbol:	2,00	Distancia entre emisores (EL) (m):	0,10

**Cuadro 17.** Continuación

<b>4. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>			
<b>VARIABLES</b>		<b>VALORES</b>	
$J = (F)(L)(j)$		<b>100%</b>	<b>50%</b>
Nu.r.= (número de unidades de riego)x(sector de riego) = Qs.r / Qu.r (LPH)		2700,00	1620,00
N° de surcos o líneas de riego x sector de riego (SR) = (total U.R del S.R) / (total U.R del gran lateral)		18	9
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):		1/2" RDE 21	1/2" RDE 21
F = factor de corrección múltiples salidas (tabla N° 1):		0,379	0,409
Ns = numero de espacios entre surcos:		17	8
EM = espaciamiento entre surcos o líneas de riego sobre el múltiple (m):		0,40	0,40
Ti = tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):		0,10	0,10
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):		0,10	0,10
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EM)+(Ti)+(Tf):		7,00	3,50
Le = longitud equivalente por conexión de laterales al múltiple 0,25 m para silletas de 12 mm y 0,5 m para silletas de 16 mm :		0,50	0,50
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):		7,50	4,00
Q = caudal de diseño (GPM) y / o para calculo:		8,32	4,16
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):		0,220	0,066
$J = (F)(L)(j)$ (m):		0,63	0,11
J permisible (45% del 20% de la presión de trabajo de la unidad de riego)		0,63	0,63
CHEQUEO $J \leq J$ permisible		<b>VERDADERO</b>	<b>VERDADERO</b>
<b>5. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DEL MÚLTIPLE PREM (m)</b>			
<b>PREM = pérdidas totales múltiple (J) + presión entrada lateral (PEL) + - ΔH terreno (ΔH)</b>			
<b>PREM (PSI)</b>		<b>PREM (m)</b>	
10,94		7,69	
<b>PRESIÓN ENTRADA DEL LATERAL (m)</b>		<b>ΔH terreno (ΔH) (m)</b>	
7,06		0,00	
<b>6. TAMAÑO DEL MÚLTIPLE</b>			
<b>PARA CALCULO DE DISEÑO (TM)</b>		<b>PARA TRAZADO GRAN MÚLTIPLE EN EL LOTE (TGM)</b>	
TM = longitud real (Lr) (m)		TL = (N° de espacios entre surcos)*(Distancia entre surcos)+(Longitud de influencia)*(2); longitud de influencia = (1/2)(EM) (m)	
<b>100% (m)</b>	7,00	<b>100% (m)</b>	7,20
<b>50 % (m)</b>	3,50	<b>50 % (m)</b>	0,14

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

➤ **Calculo de la tubería de alimentación**

Los cálculos hidráulicos de la tubería de alimentación del sistema de riego por goteo se exhiben en el cuadro 18.

**Cuadro 18.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería de alimentación "método múltiples salidas"

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Goteo	Huerto:	Hortalizas	Sector de riego:	1
<b>1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>					
<b>VARIABLES</b>					<b>VALORES</b>
$J_1 = (F)(L)(j)$					
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):					1/2" RDE 21
F = depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar) (Tabla N° 1)					1,00
Q = caudal total a conducir = Σ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):					8,32
Lr = longitud real : desde conexión sobre principal hasta conexión último sector riego					16,00
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)					1,40
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					17,40
j = pérdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):					0,230
$J_1 = (F)(L)(j)$ (m):					4,00
<b>1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)</b>					
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q(GPM)	Le (m)	
Codo 90°	1	1/2"	8,32	0,40	
Te	1	1/2"	8,32	1,00	
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	1,40				
<b>1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS</b>					
<b>VARIABLES</b>					<b>VALORES</b>
Clase y diámetro de tubería:					PVC 1/2"
RDE tubo:					21
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):					0,00130
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):					0,02134
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):					0,01874
R = radio interno (m):					0,00937
A = Área tubo = (π)(R²) (m²):					0,000276
Q = caudal (m³/seg):					0,000525
V = Q/A (m/seg):					1,90
V permisible (m/seg) según fabricante:					2,50
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:					<b>VERDADERO</b>

**Cuadro 18.** Continuación

<b>2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN (PREA) (m)</b>	
<b>PREA = pérdidas totales tubería de alimentación (J) + presión requerida entrada al múltiple del sector de riego crítico (PREM) + - ΔH terreno (ΔH)</b>	
<b>PREA (PSI)</b>	<b>PREA (m)</b>
16,64	11,69
<b>PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA AL MÚLTIPLE SECTOR DE RIEGO CRÍTICO (m)</b>	<b>ΔH terreno (ΔH) (m)</b>
7,69	0

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

Los resultados arrojados de los anteriores cálculos hidráulicos permiten establecer que el sistema de riego por goteo instalado cumple con los diámetros de tubería apropiados, generando pérdidas por fricción, velocidades de tubería y presiones permisibles. Su funcionamiento es adecuado, cuenta con tubería y accesorios hidráulicos en óptimo estado.

**4.4.2 Presupuesto**

En el cuadro 19 se presentan los detalles del valor de la instalación del sistema de riego por goteo en la unidad productiva hortalizas.

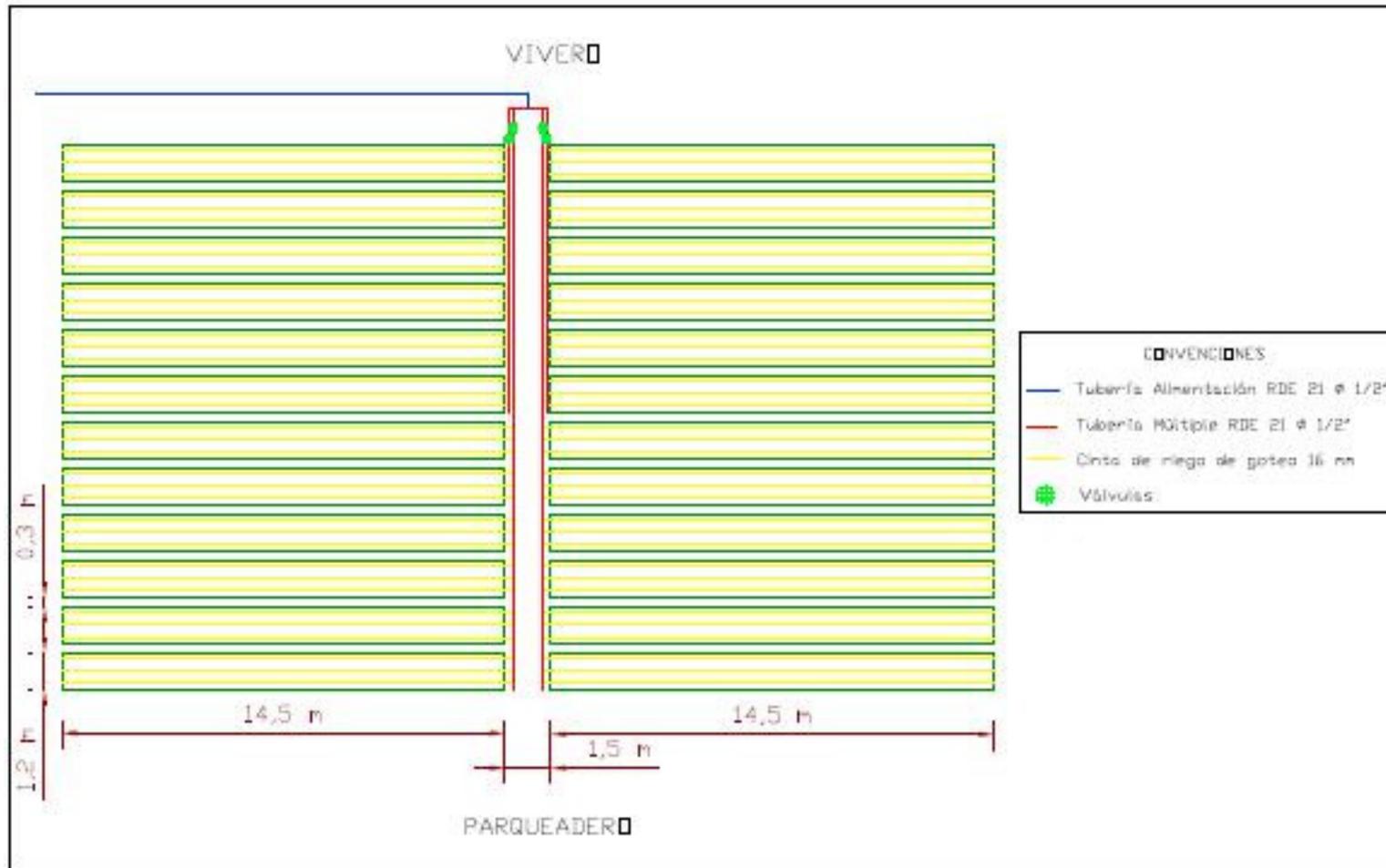
**Cuadro 19.** Detalles presupuesto del sistema de riego instalado, hortalizas

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA DE ALIMENTACION</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	16	\$ 1.500	\$ 24.000
Te PVC 1/2"	UN	1	\$ 800	\$ 800
Codo	UN	1	\$ 350	\$ 350
Cinta teflón	UN	10	\$ 464	\$ 4.640
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 103.396</b>			

**Cuadro 19.** Continuación

<b>TUBERIA MULTIPLES</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	60	\$ 1.500	\$ 90.000
Silletas PR 35 16 mm	UN	72	\$ 1.100	\$ 79.200
Tapón roscado 1/2"	UN	4	\$ 280	\$ 1.120
Adaptador macho 1/2"	UN	4	\$ 850	\$ 3.400
Conector PR 35 16 mm	UN	72	\$ 1.100	\$ 79.200
Te PVC 1/2"	UN	72	\$ 800	\$ 57.600
Válvulas 1/2"	UN	4	\$ 15.000	\$ 60.000
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 310.520</b>	
<b>TUBERIA LATERAL</b>				
Cinta de goteo 16 mm/10cm	ML	1080	\$ 350	\$ 378.000
Obturador 16 mm	UN	72	\$ 80	\$ 5.760
<b>SUBTOTAL</b>			<b>\$ 383.760</b>	
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 797.676</b>

La vista en planta del diseño del sistema de riego por goteo instalado en la unidad productiva hortalizas se presenta en la Figura 18 y en el Plano 1 para su mayor detalle.



**Figura 18.** Vista en planta sistema de riego por goteo, hortalizas

## 4.5 PLANTAS MEDICINALES

Esta unidad productiva presentaba un sistema de riego por goteo en cinta de riego, en el momento de la evaluación hidráulica se encontraron falencias como taponamiento, fugas y deterioro de las tuberías debido al tiempo de uso y a la exposición solar, lo cual se puede observar en la Figura 19.



**Figura 19.** Anterior sistema de riego por goteo, medicinales

Por lo anterior se realizó el diseño e instalación de un sistema de riego por mediana aspersion que consta de cuatro hidrantes (puntos fijos) los cuales irrigan la totalidad del área, a continuación se presentan los cálculos hidráulicos de dicho sistema.

### 4.5.1 Cálculos hidráulicos

#### ➤ Cálculo del espaciamiento máximo permisible

Para la selección e instalación de la unidad de riego se realizó el cálculo del espaciamiento máximo permisible (EMP), el cual se ilustra en el Cuadro 20 para el sistema de riego por mediana aspersion de la unidad productiva plantas medicinales.

**Cuadro 20.** Taller: Riego a presión: Cálculo del espaciamiento máximo permisible para la selección e instalación de la unidad de riego (EMP)

DATOS BÁSICOS								
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Medicinales	Sector de riego (S.R) N°:	1	Velocidad del viento (km/hr):	2,80	
Unidad de riego (UR) Modelo:	3023-2	PSI:	25,00	Q (GPM):	3,7	Diámetro húmedo øh (m)	24,0	
1. MÉTODO DE LA DIAGONAL								
EMP CUADRO Y/O RECTÁNGULO	EL:	11,0	15,56	EMP TRIANGULO	EL:	12,00	15,23	
	EP:	11,0			EP:	14,00		
COMPROBACIÓN EMP <= 2/3 Øh	16,00	<b>VERDADERO</b>		EMP <= 2/3 Øh	16,00	<b>VERDADERO</b>		
2. MÉTODO DEL CRITERIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO								
EMP = (F.v.v) * (øh) = EP	EMP (m):	18,00	CUADRO	EP (m):	12,0	TRIANGULO	EP	12,0
				EL (m):	12,0		EL	16,0
F.v.v:	0,75							

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua**

En el Cuadro 21 se presentan los cálculos del grado o velocidad de aplicación del agua en una unidad de riego para el sistema de riego por mediana aspersión.

**Cuadro 21.** Taller: Riego a presión: Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua en una unidad de riego (Ga)

DATOS BÁSICOS							
Modalidad:	Aspersión	Huerto	Medicinales	Sector de riego (S.R)	1	Velocidad del viento (km/hr):	2,80
Unidad de riego (UR) Modelo:	3023-2	PSI:	25,00	Q (LPS):	0,23	Diámetro húmedo øh:	24,00
lb (cm/hr):	1,00						
GRADO DE APLICACIÓN (Ga) UNIDAD DE RIEGO							
GRADO DE APLICACIÓN (Ga)	0,22						

**Cuadro 21.** Continuación

MÉTODO DEL CRITERIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO								
EMP = (F.v.v )*(øh) = EP	EMP (m):	18,00	CUADRO	EP	18,00	TRIANGULO	EP	18,0
				EL	18,00		EL	20,8
F.v.v:	0,75							
MÉTODO DE LA DIAGONAL								
EMP CUADRO Y/O RECTÁNGULO	EL:	11,00	15,56	EMP TRIANGULO	EL:	12,00	15,23	
	EP:	11,00			EP:	14,00		
COMPROBACIÓN EMP <= 2/3 øh	16,00	<b>VERDADERO</b>		EMP <= 2/3 øh	16,00	<b>VERDADERO</b>		

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Calculo de la tubería lateral**

A continuación se muestran los cálculos hidráulicos de tubería lateral (Cuadro 22).

**Cuadro 22.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego por aspersión. Método “múltiples salidas”

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Medicinales	Sector de riego:	1
1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES					VALORES
$J1 = (F)(L)(j)$					
Nur = número de unidades de riego por lateral = N° de salidas:					3,00
θ = diámetro y RDE tubería :					1 1/2" RDE 21
F = factor de corrección múltiples salidas y/o unidades de riego a beneficiar /turno					0,54
Q = caudal total a conducir = (N° unidades de riego)*(Q unitario) (GPM):					11,10
Qur = caudal unidad de riego (GPM):					3,70
Ns = numero de espacios entre unidades de riego:					2,00
EL = espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m):					12,00
Ti = tramo inicial desde conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m)					2,00
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):					2,00
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EL)+(Ti)+(Tf):					28,00
Le = longitud equivalente por accesorios (m):					5,00
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					33,00
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 4):					0,0061
$J1 = (F)(L)(j) (m):$					0,11

**Cuadro 22.** Continuación

1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE TUBERÍA LATERAL(Le)					
ACCESORIOS	CANTIDAD	$\theta$	Q(GPM)	Le (m)	
Te activa	1	1 1/2"	11,10	2,80	
Codo 90°	2	1 1/2"	11,10	2,20	
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	5,00				
1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS					
VARIABLES			VALORES		
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1 1/2"		
RDE tubo:			21		
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00229		
$\theta_e$ = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,04826		
$\theta_i$ = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,04368		
R = radio interno (m):			0,02184		
A = Área tubo = $(\pi)(R^2)$ (m <sup>2</sup> ):			0,00150		
Q = caudal (m <sup>3</sup> /seg):			0,00070		
V = Q/A (m/seg):			0,47		
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,50		
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:			<b>VERDADERO</b>		
2. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR CONEXIÓN DE LA UNIDAD DE RIEGO (J2)					
VARIABLES	VALORES	LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)			
		ACCESORIOS	CANT.	$\theta$	Q (GPM) Le (m)
Qur = caudal unidad de riego (GPM):	3,7	Hidrante	3	3/4"	3,7 4,50
Lr = longitud real elevador (m):	1	Codo 90°	2	1"	3,7 1,40
Le = longitud equivalente (m) (Tabla N°5, Grafica N°1):	6,60	Reducción	1	1 " x 3/4"	3,7 0,70
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):	7,60				
$\theta$ = diámetro y RDE tubería :	1 " RDE 21				
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 6):	0,005				
J2 = (L)(j):	0,04	<b>SUMATORIA (Le) (m)</b>	6,60		
3. PERDIDAS DE PRESIÓN EN LA UNIDAD DE RIEGO J3					
VARIABLES		VALORES			
P= presión de trabajo medida unidad de riego (m)		17,57			
Cg = coeficiente de carga de las boquillas:	Viejas 0,95	0,95			
	Nuevas 0,99				
J3 = (P)-((Cg)(P)) (m):		0,88			

**Cuadro 22.** Continuación

4. PERDIDAS TOTALES EN EL LATERAL (JT)			
VARIABLES		VALORES	
JT = J1+J2+J3:		1,02	
J permisible (20% de la presión de trabajo unidad de riego) (m):		3,51	
CHEQUEO JT <= J permisible		VERDADERO	
5. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)			
PRESIÓN A LA ENTRADA (PEL)		PRESIÓN A LA SALIDA (PSL)	
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES
Pur = presión unidad de riego (m):	17,57	PEL = presión entrada lateral (m):	20,59
J = pérdidas totales (m):	1,02	J = pérdidas totales (m):	1,02
$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	2,00	$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	2,00
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (m):	20,59	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (m):	21,57
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (PSI):	29,30	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (PSI):	30,69

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

➤ **Cálculo de la tubería del múltiple**

En el cuadro 23 se exhiben los cálculos hidráulicos de la tubería del múltiple.

**Cuadro 23.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería múltiple. “Método múltiples salidas”

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Medicinales	Sector de riego:	1
1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)					
VARIABLES				VALORES	
$J1 = (F)(L)(j)$					
$\theta$ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):				1 1/2" RDE 21	
F =depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar ) (Tabla N° 1)				0,639	
Q = caudal total a conducir = $\Sigma$ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):				11,10	
Lr = longitud real : desde conexión sobre principal hasta conexión del último sector de riego a beneficiar (m)				10,00	
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)				4,80	
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):				14,80	
j = perdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):				0,018	
$J1 = (F)(L)(j)$ (m):				0,17	

**Cuadro 23.** Continuación

1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)				
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q(GPM)	Le (m)
Te activa	1	1"	11,10	1,70
te activa	1	1 1/2"	11,10	2,50
Ampliación	1	1 x 1 1/2"	11,10	0,60
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	4,80			
1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS				
VARIABLES			VALORES	
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1 1/2"	
RDE tubo:			21	
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00229	
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,04826	
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,04368	
R = radio interno (m):			0,02184	
A = Área tubo = (π)(R <sup>2</sup> ) (m <sup>2</sup> ):			0,00150	
Q = caudal (m <sup>3</sup> /seg):			0,00070	
V = Q/A (m/seg):			0,47	
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,50	
CHEQUEO V<=V permisible:			<b>VERDADERO</b>	
2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN (PREA) (m)				
<b>PREA = pérdidas totales tubería de alimentación (J) + presión requerida entrada al múltiple del sector de riego critico (PREM) + - ΔH terreno (ΔH)</b>				
PREA (PSI)		PREA (m)		
32,39		22,76		
PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA A LATERAL SECTOR DE RIEGO CRITICO (m)		ΔH terreno (ΔH) (m)		
20,59		2		

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

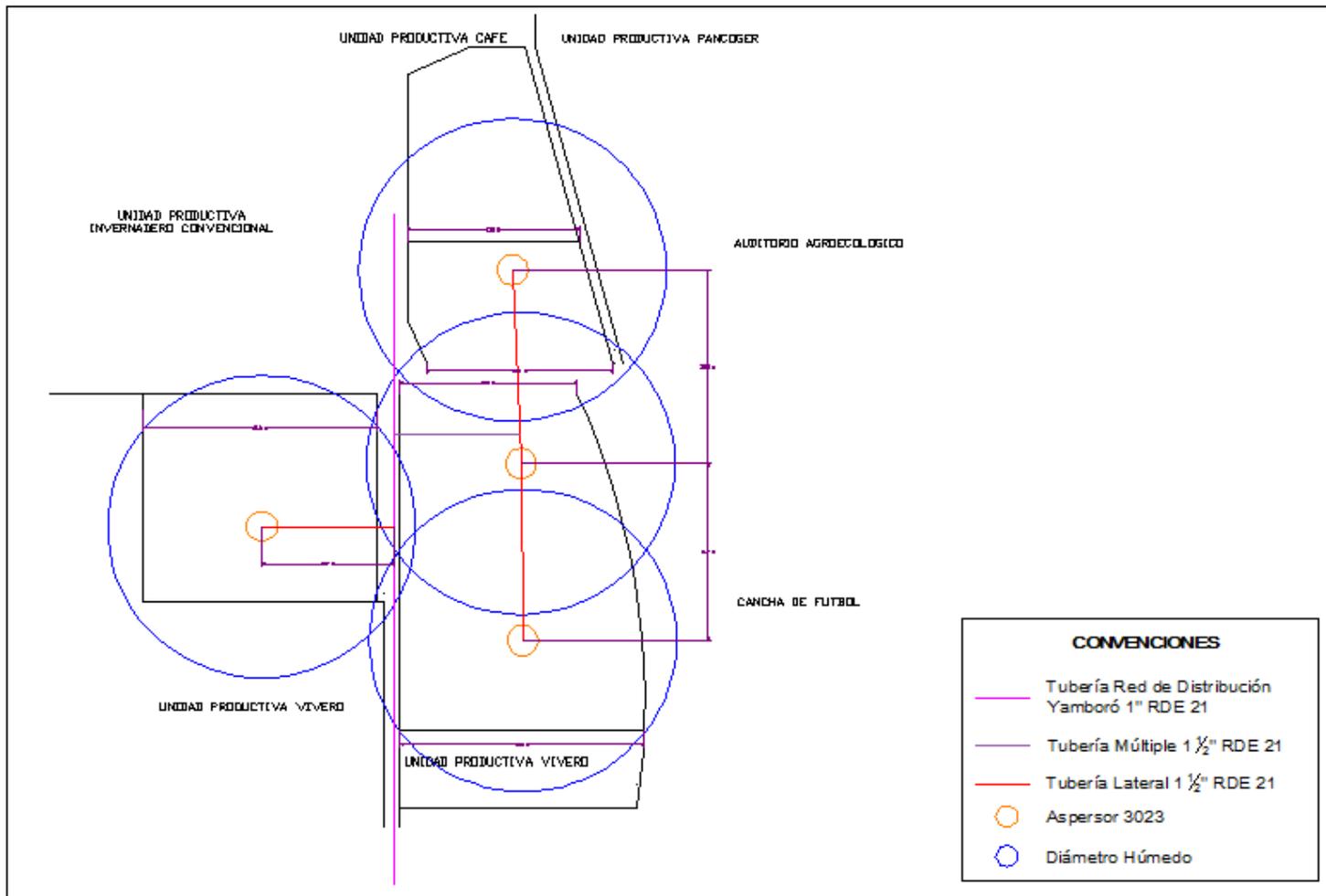
El sistema de irrigación de esta unidad productiva funciona adecuadamente, la tubería y los accesorios hidráulicos se encuentran en buenas condiciones. Según los cálculos hidráulicos, este sistema por aspersión presenta diámetros de tubería adecuados, los cuales generan pérdidas por fricción, velocidades de tubería y presiones óptimas (Figura 20).



**Figura 20.** Nuevo sistema de riego por aspersión, plantas medicinales

La vista en planta del diseño del sistema de riego por aspersión instalado en la unidad productiva plantas medicinales se ilustra en la Figura 21 y el Plano 4 donde se puede apreciar con mayor detalle.

Debido a los materiales disponibles en la bodega del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, este sistema de riego por aspersión se encuentra sobre diseñado, pues las condiciones hidráulicas permiten reducir diámetros y variar la clase de tubería conllevando a la reducción de costos.



**Figura 21.** Vista en planta sistema de riego por aspersión, plantas medicinales

A continuación se resumen las condiciones hidráulicas teóricas del sistema diseñado e instalado con los materiales disponibles en la bodega del Tecnoparque y las del sistema óptimo (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Comparación de las condiciones hidráulicas, plantas medicinales

TUBERÍA	CLASE Y DIÁMETRO DE TUBERÍA		PÉRDIDAS DE CARGA (m)			VELOCIDAD DE TUBERÍA (m/s)			PRESIÓN ENTRADA (m)	
	Sistema instalado	Sistema óptimo	Ji	Jo	J	Vi	Vo	V	Pi	Po
<b>Elevador</b>	1" RDE 21	1" PR 35	0,04	0,20	----	----	----	----	----	----
<b>Lateral</b>	1 1/2" RDE 21	1" RDE 21	1,02	1,71	3,51	----	----	----	20,59	21,28
<b>Múltiple</b>	1 1/2" RDE 21	1" RDE 21	----	----	----	0,47	0,96	2,0 - 2,5	22,76	23,45

donde;

Ji: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

Jc: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

P: Pérdidas teóricas permisibles para el diseño

Vi: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

Vc: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

V: Velocidades teóricas permisibles para diseño

Pi: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego instalado

Pc: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego óptimo

#### 4.5.2 Presupuesto

Se presenta a continuación la descripción de los materiales que fueron empleados para la instalación de este sistema de riego y sus respectivos precios en el mercado (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Detalles presupuesto del sistema de riego instalado, plantas medicinales

DESCRIPCION	UNDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA MULTIPLES</b>				
Tubería PVC 1 1/2" RDE 21	ML	10	\$ 5.500	\$ 55.000
Ampliación 1" x 1 1/2"	UN	1	\$ 1.600	\$ 1.600
Te PVC 1 1/2"	UN	1	\$ 4.000	\$ 4.000
Te PVC 1"	UN	1	\$ 1.200	\$ 1.200
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 61.800</b>			
<b>TUBERIA LATERAL</b>				
Tubería PVC 1 1/2" RDE 21	ML	40	\$ 5.500	\$ 220.000
Te PVC 1 1/2"	UN	1	\$ 4.000	\$ 4.000
Te PVC 1"	UN	1	\$ 1.200	\$ 1.200
Ampliación 1" x 1 1/2"	UN	1	\$ 1.600	\$ 1.600
Codo 90° 1 1/2"	UN	3	\$ 3.200	\$ 9.600
Aspersor 3023-2	UN	4	\$ 35.000	\$ 140.000
Llave Bayoneta 3/4"	UN	4	\$ 10.648	\$ 42.592
Válvula Hidrante 1 "	UN	4	\$ 21.000	\$ 84.000
Cinta teflón	UN	2	\$ 464	\$ 928
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 601.526</b>			
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 663.326</b>

Al realizar los cálculos del presupuesto con la reducción de diámetros y variación de clase de tubería, se observa que el valor del sistema de riego para la unidad productiva plantas medicinales sería de aproximados \$500.000, notándose una reducción del 25%.

## 4.6 BANCO DE PROTEÍNAS

Esta unidad productiva corresponde al proyecto de ganadería, es un lote sembrado con leguminosa arbustiva *Leucaena (leucocephala)*, especie forrajera de alta producción de biomasa de buena calidad, la cual es una fuente de proteína de bajo costo disponible a cualquier productor, que se utiliza para el complemento de la dieta alimenticia de las especies bovinas del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró.

En esta unidad productiva se instaló un sistema de riego por mediana aspersión semi-móvil, que cuenta con una válvula hidrante fija de 1", de la cual se distribuye el agua para todo el lote por medio de tubería de polietileno de 3/4" que se desplaza según los turnos de riego a 7 puntos fijos del lote para alcanzar el humedecimiento del 100% del área. Se empleó un aspersor de impulso en plástico con dos salidas, de círculo completo que proporciona un diámetro húmedo de 20 m con una presión de funcionamiento de 25 PSI.

Seguidamente se presentan los correspondientes cálculos hidráulicos de este sistema de riego.

### 4.6.1 Cálculos Hidráulicos

#### ➤ Cálculo del espaciamiento máximo permisible

En el Cuadro 26 se ilustra el cálculo del espaciamiento máximo permisible entre unidades de riego (EMP).

**Cuadro 26.** Taller: Riego a presión: Cálculo del espaciamiento máximo permisible para la selección e instalación de la unidad de riego (EMP)

DATOS BÁSICOS							
Modalidad:	Aspersión	Huerto	Leucaena	Sector de riego (S.R)	1	Velocidad del viento (km/hr):	2,80
Unidad de riego (UR) Modelo:	3023-2	PSI:	25,00	Q (GPM):	3,70	Diámetro húmedo øh (m)	20,0
1. MÉTODO DE LA DIAGONAL							
EMP CUADRO Y/O RECTÁNGULO	EL:	9,00	12,73	EMP TRIANGULO	EL:	8,00	12,65
	EP:	9,00			EP:	12,00	
COMPROBACIÓN EMP <= 2/3 Øh	13,33	<b>VERDADERO</b>	EMP <= 2/3 Øh	13,33	<b>VERDADERO</b>		

**Cuadro 26.** Continuación

2. MÉTODO DEL CRITERIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO								
EMP = (F.v.v) * (øh) = EP	EMP (m):	15,00	CUADRO	EP	15,00	TRIANGULO	EP	15,00
				EL	15,00		EL	17,33
F.v.v:	0,75							

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua**

Posteriormente se presenta el cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua (Cuadro 27).

**Cuadro 27.** Taller: Riego a presión: Cálculo del grado o velocidad de aplicación del agua en una unidad de riego (Ga)

DATOS BÁSICOS								
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Leucaena	Sector de riego (SR) N°:	1	Velocidad del viento (km/hr):	2,80	
Unidad de riego (UR) Modelo:	3023-2	PSI:	25,00	Q (LPS):	0,23	Diámetro húmedo øh (m):	20,0	
lb (cm/hr):	1,00							
GRADO DE APLICACIÓN (Ga) UNIDAD DE RIEGO								
GRADO DE APLICACIÓN (Ga)	0,32							
MÉTODO DEL CRITERIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO								
EMP = (F.v.v) * (øh) = EP	EMP (m):	15,00	CUADRO	EP	15,00	TRIANGULO	EP	15,00
				EL	15,00		EL	17,33
F.v.v:	0,75							
MÉTODO DE LA DIAGONAL								
EMP CUADRO Y/O RECTÁNGULO	EL:	9,00	12,73	EMP TRIANGULO	EL:	8,00	12,65	
	EP:	9,00			EP:	12,00		
COMPROBACIÓN EMP <= 2/3 øh	13,33	<b>VERDADERO</b>	EMP <= 2/3 øh	13,33	<b>VERDADERO</b>			

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO - MIGERCIPER

➤ **Calculo de la tubería lateral**

El cuadro 28 exhibe el cálculo hidráulico de la tubería lateral en el sistema de riego por aspersión semi-móvil de la unidad productiva banco de proteínas.

**Cuadro 28.** Taller: Riego a presión: Cálculo de un lateral en el sistema de riego por aspersión. Método "múltiples salidas"

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Leucaena	Sector de riego:	1
<b>1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>					
<b>VARIABLES</b>					<b>VALORES</b>
$J1 = (F)(L)(j)$					
Nur = número de unidades de riego por lateral = N° de salidas:					1,00
θ = diámetro y RDE tubería :					1" PR 35
F = factor de corrección múltiples salidas y/o unidades de riego a beneficiar / turno					1,00
Q = caudal total a conducir = (N° unidades de riego)*(Q unitario) (GPM):					3,70
Qur = caudal unidad de riego (GPM):					3,70
Ns = numero de espacios entre unidades de riego:					0,00
EL = espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m):					24,00
Ti = tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m):					24,00
Tf = tramo final desde la última unidad de riego hasta el obturador (m):					1,00
Lr = longitud real (m) = (Ns)*(EL)+(Ti)+(Tf):					25,00
Le = longitud equivalente por conexión de unidad de riego al lateral 0,05-0,2 m:					0,70
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					25,70
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 4):					0,026
$J1 = (F)(L)(j)$ (m):					0,67
<b>1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE TUBERÍA LATERAL(Le)</b>					
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q(GPM)	Le (m)	
Codo 90°	1	1"	3,70	0,70	
<b>SUMATORIA Le (m)</b>			0,70		
<b>1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS</b>					
<b>VARIABLES</b>			<b>VALORES</b>		
Clase y diámetro de tubería:			Polietileno; 1"		
RDE tubo:			PR 35		
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00160		
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,03340		
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,03020		
R = radio interno (m):			0,01510		
A = Área tubo = (π)(R²) (m²):			0,00072		
Q = caudal (m3/seg):			0,0002334		
V = Q/A (m/seg):			0,33		
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,00		
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:			<b>VERDADERO</b>		

**Cuadro 28.** Continuación

2. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR CONEXIÓN DE LA UNIDAD DE RIEGO (J2)						
VARIABLES	VALORES	LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)				
		ACCESORIOS	CANTIDAD	$\theta$	Q (GPM)	Le (m)
Qur = caudal unidad de riego (GPM):	3,7	Codo 90°	1	1"	3,7	0,70
Lr = longitud real elevador (m):	1	Hidrante	1	1"	3,7	1,50
Le = longitud equivalente (m) (Tabla N°5, Grafica N°1):	2,90	Reducción	1	1" x 3/4"	3,7	0,70
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):	3,90					
$\theta$ = diámetro y RDE tubería :	1" PR 35					
j = perdidas por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 6):	0,026					
J2 = (L)(j):	0,10	<b>SUMATORIA (Le) (m)</b>	2,90			
3. PERDIDAS DE PRESIÓN EN LA UNIDAD DE RIEGO J3						
VARIABLES		VALORES				
P= presión de trabajo medida unidad de riego (m):		17,576				
Cg = coeficiente de carga de las boquillas:	Viejas 0,95	0,95				
	Nuevas 0,99					
J3 = (P)-((Cg)(P)) (m):		0,88				
4. PERDIDAS TOTALES EN EL LATERAL (JT)						
VARIABLES		VALORES				
JT = J1+J2+J3:		1,65				
J permisible (20% de la presión de trabajo unidad de riego) (m):		3,52				
CHEQUEO JT <= J permisible		VERDADERO				
5. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)						
PRESIÓN A LA ENTRADA (PEL)			PRESIÓN A LA SALIDA (PSL)			
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES	VALORES
Pur = presión unidad de riego (m):	17,58	PEL = presión entrada lateral (m):	19,72			
J = pérdidas totales (m):	1,65	J = pérdidas totales (m):	1,65			
$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	0,50	$\Delta H$ = Diferencia topográfica terreno (m):	0,50			
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (m):	19,72	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (m):	18,58			
PEL = Pur+J+- $\Delta H$ (PSI):	28,07	PSL = PEL-J+- $\Delta H$ (PSI):	26,43			

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

➤ **Cálculo de la tubería del múltiple**

En el Cuadro 29 se aprecia el cálculo de la tubería del múltiple del sistema de riego por aspersión semi- móvil.

**Cuadro 29.** Taller: Riego a presión: Cálculo de la tubería múltiple. "Método múltiples salidas"

UNIDAD DE RIEGO		CULTIVO		ABASTECIMIENTO	
Modalidad:	Aspersión	Huerto:	Leucaena	Sector de riego:	1
<b>1. CALCULO DE LAS PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)</b>					
<b>VARIABLES</b>					<b>VALORES</b>
$J_1 = (F)(L)(j)$					
θ = diámetro y RDE tubería (asumirlo):					1" RDE 21
F =depende del número de salidas (sector de riego a beneficiar ) (Tabla N° 1)					1,000
Q = caudal total a conducir = Σ caudales sectores de riego a beneficiar (GPM):					3,70
Lr = longitud real : desde conexión sobre principal hasta conexión del último sector de riego a beneficiar (m)					21,00
Le = longitud equivalente por accesorios (m) (Tabla N° 5 ; Grafica N° 1)					2,40
L = longitud total (m) (Lr)+(Le):					23,40
j = perdidas unitarias por fricción en la tubería (m/m) (Tabla N° 2,3,8):					0,0053
$J_1 = (F)(L)(j)$ (m):					0,12
<b>1.1. CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (Le) (m)</b>					
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q(GPM)	Le (m)	
Te activa	1	1"	3,70	1,70	
Codo 90°	1	1"	3,70	0,70	
<b>SUMATORIA Le (m)</b>	2,40				
<b>1.2. CALCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN LAS TUBERÍAS</b>					
<b>VARIABLES</b>			<b>VALORES</b>		
Clase y diámetro de tubería:			PVC 1"		
RDE tubo:			21		
Espesor pared tubo (m) (catálogo fabricante):			0,00160		
θe = diámetro externo (m) (catalogo fabricante):			0,03340		
θi = Diámetro interno (m) (catalogo fabricante):			0,03020		
R = radio interno (m):			0,01510		
A = Área tubo = (π)(R²) (m²):			0,00072		
Q = caudal (m3/seg):			0,0002334		
V = Q/A (m/seg):			0,33		
V permisible (m/seg) según fabricante:			2,00		
CHEQUEO $V \leq V$ permisible:			<b>VERDADERO</b>		

**Cuadro 29.** Continuación

2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA MÚLTIPLE (PREM) (m)	
PREA = pérdidas totales tubería de alimentación (J) + presión requerida entrada al múltiple del sector de riego crítico (PREM) + - $\Delta H$ terreno ( $\Delta H$ )	
PREA (PSI)	PREA (m)
28,95	20,34
PRESIÓN REQUERIDA ENTRADA A LATERAL SECTOR DE RIEGO CRITICO (m)	$\Delta H$ terreno ( $\Delta H$ ) (m)
19,72	0,5

FUENTE: MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO – MIGERCIPER

Este sistema por aspersión semi-móvil presenta diámetros de tubería adecuados, los cuales generan pérdidas por fricción, velocidades de tubería y presiones permisibles, según los cálculos hidráulicos.

El sistema de riego instalado en esta unidad productiva funciona adecuadamente, la tubería y los accesorios hidráulicos se encuentran en óptimas condiciones (Figura 22).



**Figura 22.** Instalación sistema de riego por aspersión, banco de proteínas

No obstante, este sistema también se encuentra sobre diseñado, ya que su instalación se efectuó con los materiales con que se contaba en la bodega del Tecnoparque 7.

Posteriormente se presenta un cuadro comparativo de la evaluación hidráulica entre el sistema diseñado e instalado y el sistema óptimo (Cuadro 30).

**Cuadro 30.** Comparación de las condiciones hidráulicas, banco de proteínas

TUBERÍA	CLASE Y DIÁMETRO DE TUBERÍA		PÉRDIDAS DE CARGA (m)			VELOCIDAD DE TUBERÍA (m/s)			PRESIÓN ENTRADA (m)	
	Sistema instalado	Sistema óptimo	Ji	Jo	J	Vi	Vo	V	Pi	Po
Lateral	1" PR 35	20 mm PR 35	1,65	3,25	3,52	----	----	----	19,72	21,33
Múltiple	1" RDE 21	1/2" RDE 21	----	----	----	0,33	0,85	2,0 - 2,5	20,34	23,26

donde;

Ji: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

Jc: Pérdidas teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

P: Pérdidas teóricas permisibles para el diseño

Vi: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego instalado

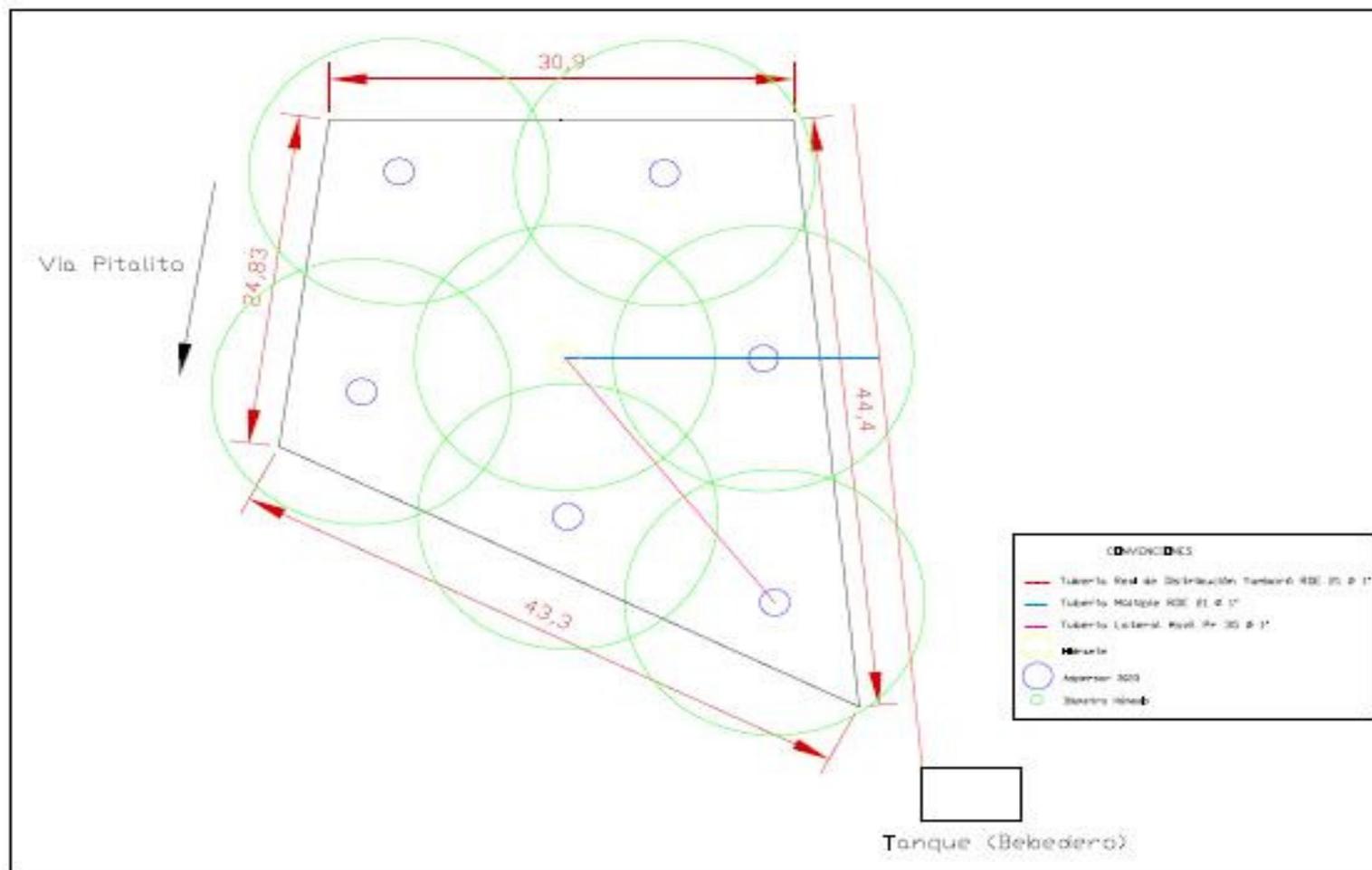
Vc: Velocidades teóricas obtenidas en el sistema de riego óptimo

V: Velocidades teóricas permisibles para diseño

Pi: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego instalado

Pc: Presión a la entrada teórica obtenida en el sistema de riego óptimo

En la Figura 23 y para su mayor comprensión en el Plano 4 se ilustra la vista en planta del diseño del sistema de riego por aspersión instalado en la unidad productiva banco de proteínas.



**Figura 23.** Vista en planta sistema de riego por aspersión, banco de proteínas

#### 4.6.2 Presupuesto

El Cuadro 31 ilustra los materiales utilizados en la instalación de este sistema de riego por aspersión semi-móvil y sus precios en el mercado respectivamente.

**Cuadro 31.** Detalles presupuesto del sistema de riego instalado, banco de proteínas

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA MULTIPLES</b>				
Tubería PVC 1" RDE 21	ML	22	\$ 2.200	\$ 48.400
Te PVC 1"	UN	1	\$ 1.200	\$ 1.200
Codo 90° 1"	UN	1	\$ 1.000	\$ 1.000
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 50.600</b>			
<b>TUBERIA LATERAL</b>				
Tubería PR 35 1"	ML	24	\$ 1.700	\$ 40.800
Reducción 1" x 3/4	UN	1	\$ 700	\$ 700
Codo 90° 1"	UN	2	\$ 1.000	\$ 2.000
Aspersor 3023-2	UN	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Llave Bayoneta 3/4"	UN	1	\$ 10.648	\$ 10.648
Válvula Hidrante 1 "	UN	1	\$ 21.000	\$ 21.000
Cinta teflón	UN	2	\$ 464	\$ 928
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 208.682</b>			
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 259.282</b>

El valor aproximado de la instalación de este sistema de riego por mediana aspersión al reducir diámetros y cambiar la clase de tubería es de \$234.682, disminuyendo su costo un 10% aproximadamente.

## 4.7 ZONAS VERDES

Se realizó el diseño de un sistema de riego por microaspersión para las zonas verdes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, el cual se divide en tres sectores de riego. A continuación se presenta el esquema con el debido diseño de tal sistema.

### 4.7.1 Presupuesto

Posteriormente se presentan los detalles de los costos de los materiales requeridos para el sistema de riego por microaspersión para las zonas verdes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró (Cuadro 32).

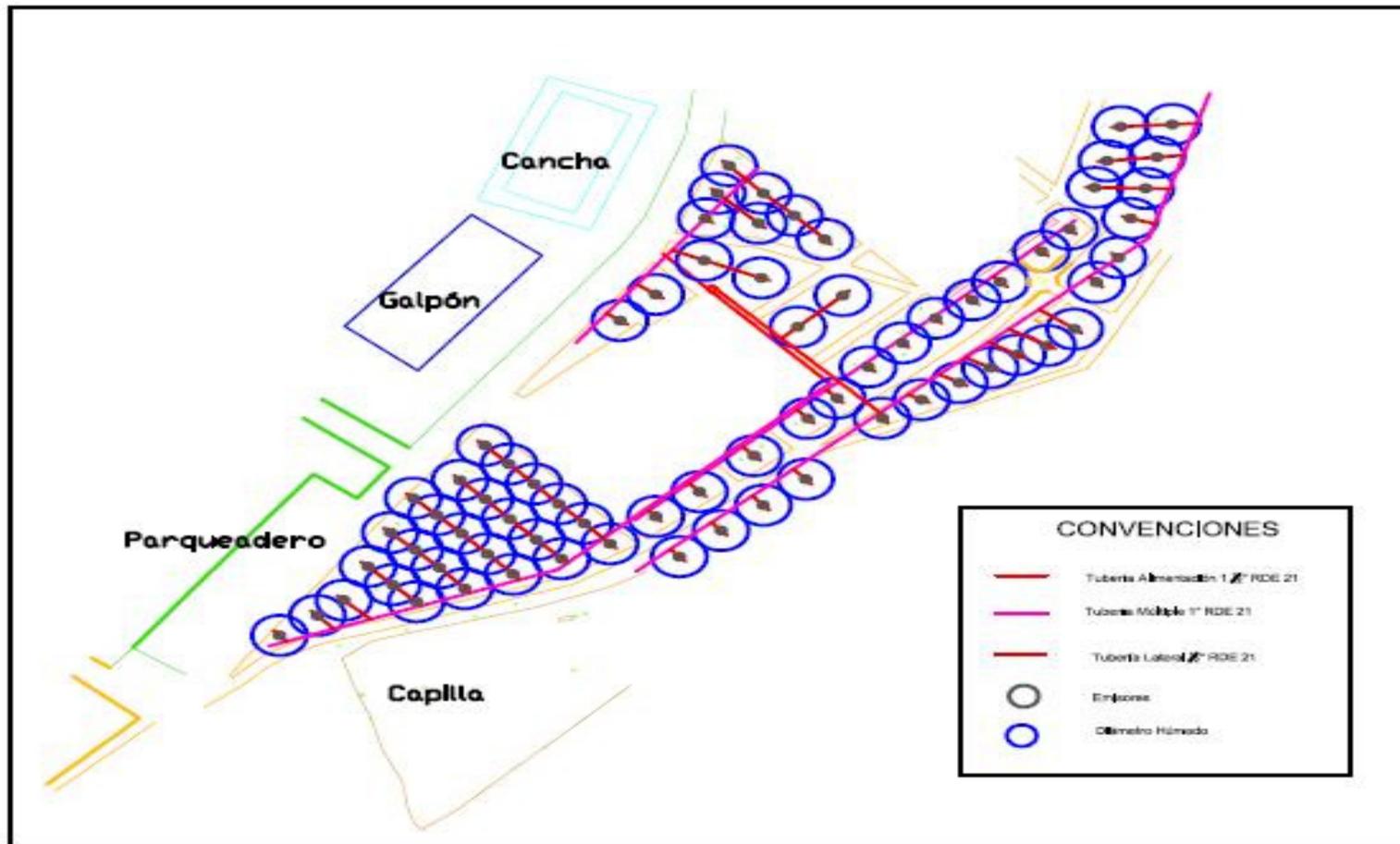
**Cuadro 32.** Detalles presupuesto del sistema de riego diseñado para las zonas verdes del Tecnoparque 7

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>ITEM: MATERIALES PARA RIEGO</b>				
<b>TUBERIA DE ALIMENTACION</b>				
Tubería PVC 1 1/2" RDE 21	ML	55	\$ 5.500	\$ 302.500
Te PVC 1 1/2"	UN	7	\$ 4.000	\$ 28.000
Codo PVC 90 x 1 1/2"	UN	3	\$ 3.000	\$ 9.000
Adaptador macho 1 1/2"	UN	3	\$ 1.720	\$ 5.160
Tapón roscado 1 1/2"	UN	3	\$ 2.050	\$ 6.150
Válvula roscada 1 1/2"	UN	3	\$ 30.000	\$ 90.000
Filtro anillos 2" - 140 mesh	UN	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Cinta teflón	UN	10	\$ 500	\$ 5.000
Sellador	1/4 Gal	1	\$ 24.360	\$ 24.360
Soldadura	1/4 Gal	1	\$ 49.418	\$ 49.418
Limpiador	1/4 Gal	1	\$ 23.828	\$ 23.828
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 693.416</b>			

**Cuadro 32.** Continuación

<b>TUBERIA MULTIPLES</b>				
Tubería PVC 1" RDE 21	ML	280	\$ 2.200	\$ 616.000
Reducción 1 1/2" x 1"	UN	7	\$ 1.600	\$ 11.200
Tapón roscado 1"	UN	7	\$ 900	\$ 6.300
Adaptador macho 1"	UN	7	\$ 850	\$ 5.950
Te PVC 1"	UN	50	\$ 1.200	\$ 60.000
Codo PVC 45 x 1"	UN	2	\$ 1.350	\$ 2.700
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 702.150</b>			
<b>TUBERIA LATERAL</b>				
Tubería PVC 1/2" RDE 21	ML	240	\$ 1.200	\$ 288.000
Reducción 1" x 1/2"	UN	50	\$ 550	\$ 27.500
Tapón roscado 1/2"	UN	50	\$ 210	\$ 10.500
Adaptador macho 1/2"	UN	50	\$ 200	\$ 10.000
Tubing 4 mm	ML	160	\$ 270	\$ 43.200
Microaspersores	UN	70	\$ 600	\$ 42.000
Conector Tubing 4 mm	UN	80	\$ 400	\$ 32.000
Estaca 30 cm	UN	80	\$ 800	\$ 64.000
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 517.200</b>			
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 1.912.766</b>

La vista en planta del diseño del sistema de riego por microaspersión para las zonas verdes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró se presenta en la Figura 24 y en el Plano 5 para su mayor detalle.



**Figura 24.** Vista en planta diseño sistema de riego por microaspersión, zonas verdes

## **4.8 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO**

Para que un sistema de riego logre su objetivo y un funcionamiento adecuado de los elementos que lo componen, se hace necesario realizar un debido mantenimiento y la ejecución del mismo periódicamente. Para una buena puesta en funcionamiento y optimización de un sistema de riego hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe realizar una limpieza periódica a la bocatoma, al desarenador y a los tanques de almacenamiento, ya que el recurso hídrico debe estar libre de elementos extraños que puedan generar obstrucciones en las tuberías. Mínimo cada tres meses, se debe hacer un muy buen lavado al desarenador. Se debe también revisar periódicamente la tubería de conducción y aducción.
- Es de importancia que la bocatoma este en perfecto estado, libre de objetos extraños, y con un grado de turbidez bajo. Al realizar el mantenimiento de la bocatoma, se debe limpiar la cajilla y la rejilla, además cerciorarse de que el nivel de agua sea óptimo para su captación, se debe revisar el cauce de la quebrada y su estado aguas arriba. Es importante el monitoreo constante de la bocatoma, para asegurar que el abastecimiento del agua sea uniforme, evitando flujos de agua interrumpidos a causa de taponamientos.
- Se debe verificar que las unidades de filtrado estén en perfecto estado, secas, y presenten un aspecto funcional, además se debe monitorear frecuentemente la presión que marca el manómetro en la entrada de la unidad de filtrado, pues este sirve de referencia para saber si la línea de conducción está en buenas condiciones para garantizar que el sistema este operando con la presión adecuada, y así generar un óptimo funcionamiento del sistema; si se aprecia un valor anormal quiere decir que hay algún daño en la línea de conducción o taponamiento en el desarenador o bocatoma. En la unidad de filtrado ubicada en la entrada de la unidad productiva invernadero convencional se debe tener una presión entre 20 y 25 PSI, y el manómetro presente en la unidad de filtrado instalada en la caseta de bombeo debe registrar una presión de aproximados 30 PSI.
- Los filtros se deben lavar con un cepillo pequeño de cerdas finas para eliminar las partículas que quedan en los discos, este procedimiento se debe efectuar antes de operar el sistema de irrigación, ya que la unidad de filtrado es primordial para garantizar la eficiencia del mismo.

- Antes de iniciar una jornada de riego se debe realizar un lavado hidráulico a las tuberías principal, alimentación, múltiple y lateral del sistema a activar, para evitar el posible taponamiento de las unidades de descarga y el sistema de tuberías, debido a que en el periodo que no han estado en uso pueden haber ingresado al sistema insectos. Para lo cual se activa un sector de riego y se retiran los tapones de lavado u obturadores, luego de unos minutos, cuando se hayan eliminado los sedimentos se procede a tapar nuevamente la tubería, después, se efectúa el mismo procedimiento con los otros sectores de irrigación.
  
- Para la operación de las válvulas según el sector de riego a beneficiar hay que hacer una buena preparación del sistema; se debe abrir únicamente la válvula del sector a regar y cerciorarse de que las válvulas de los otros sectores estén cerradas. Al realizar cambios, (pasar a un nuevo sector), es necesario en primera instancia abrir el sector que quiere regar y después cerrar el que estaba regando y así sucesivamente hasta el final de la jornada, donde el operario debe cerrar todas las válvulas, disponiéndose a cerrar el último sector de riego que tenía en funcionamiento.
  
- Cuando ocurran taponamientos en conducciones dentro del sistema y las unidades de riego, es indebido tratar de destaparlos introduciendo objetos extraños ya que la salida de las unidades viene calibrada para una descarga determinada y al hacer fuerza con un objeto extraño puede causar una malformación y posterior daño del emisor. Para este tipo de casos la solución es hacer pasar por la conducción de agua un químico, especial, que tiene la propiedad de solubilizar los objetos causa del taponamiento y poder destaparlos. “Para la limpieza de incrustaciones de carbonatos se puede inyectar ácido nítrico, fosfórico, sulfúrico o clorhídrico. Alcanzando un pH de 2 al final de los laterales de riego. Para alcanzar este PH en el agua, pueden utilizarse 6 litros del ácido por cada metro cúbico de agua que entre en las tuberías mientras dura la limpieza”<sup>7</sup>.
  
- Las líneas de abastecimiento, principal, alimentación, múltiple y laterales, tienen que estar debidamente enterradas para evitar daños provocados por la exposición de los materiales largo tiempo a la intemperie y asegurarse que no hayan escapes de agua en cada una de sus trayectorias.

<sup>7</sup> [http://www.agrocabildo.com/publica/Publicaciones/otro\\_104\\_T\\_limpieza.pdf](http://www.agrocabildo.com/publica/Publicaciones/otro_104_T_limpieza.pdf)

- Las obras que componen el sistema de riego, bocatoma, unidad de filtrado, montajes de reparto, deben permanecer limpios, secos, sin invasiones de arvenses y preferiblemente con protección para que no estén expuestos al medio ambiente.
  
- Al realizar las labores de cultivo como limpias, plateo, etc. Alrededor de las unidades de riego y demás componentes del sistema, es necesario que estas labores se realicen manualmente para evitar daños por la utilización de instrumentos agrícolas o ser realizadas con el mayor cuidado posible.
  
- El sistema de riego nunca de ser operado por una persona que no haya tenido una capacitación adecuada en el manejo del mismo.

En el Anexo K se presenta una lista de chequeo en la cual se describen las actividades a desarrollar para generar un acertado mantenimiento a los sistemas de riego de las diferentes unidades productivas.

## 5. CONCLUSIONES

- Debido al pésimo estado en que se encontraban al efectuar la evaluación hidráulica, se elaboró el diseño e instalación de sistemas de irrigación para las unidades productivas: vivero, con un sistema de irrigación por microaspersión, tubería de alimentación y múltiples en PVC ½" RDE 21, tubería lateral de 16 mm PR 35; hortalizas, con un sistema de riego por goteo, tubería de alimentación y múltiples en PVC ½" RDE 21, tubería lateral en cinta de riego 16 mm, separación entre goteros 10 cm; plantas medicinales, con un sistema de riego por mediana aspersion, el cual presenta tubería múltiple y lateral en PVC 1 ½" RDE 21.
- Se diseñó e instaló un sistema de riego por mediana aspersion semi - móvil para la unidad productiva banco de proteínas, con tubería múltiple de 1" RDE 21, tubería lateral de 1" PR 35; y se elaboró el diseño de un sistema de riego por microaspersión para las zonas verdes del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró.
- Según la evaluación hidráulica aplicada al sistema de riego por goteo de la unidad productiva invernadero convencional, éste se halla operando de manera correcta y presenta funcionamiento óptimo.
- De acuerdo a la evaluación del coeficiente de uniformidad aplicada al sistema de irrigación por microaspersión de la unidad productiva invernadero automatizado, a mayor número de unidades de descarga empleadas en la evaluación, se presenta mayor porcentaje de uniformidad; y según el comportamiento del sistema, se considera en buenas condiciones de funcionamiento.
- Se dio cumplimiento a la evaluación hidráulica de los sistemas de riego; presentando un correcto funcionamiento en las seis unidades productivas, con dos sistemas de riego por goteo, dos por microaspersión y dos por mediana aspersion.

## 6. RECOMENDACIONES

- Implementar sistemas de filtrado en las unidades de riego con el objeto de prever obturaciones en los orificios de los emisores, ya que esto conlleva al deterioro del sistema y en consecuencia a la ineficiencia de los sistemas de riego localizados.
- Realizar un adecuado manejo de los sistemas de riego del Tecnoparque 7 es fundamental para el buen funcionamiento de los mismos, por lo que se recomienda seguir lo establecido en el manual de operación y mantenimiento.
- Tener la suficiente disponibilidad de materiales hidráulicos en la bodega del Tecnoparque 7 Agroecológico Yamboró, para realizar la adecuada instalación de sistemas de riego evitando que estos queden sobre diseñados.
- Proyectando la implementación de cultivos con sistemas de riego que suplan las necesidades hídricas, se hace necesario aumentar la cantidad de agua disponible para el Tecnoparque 7, por ende se recomienda diseñar un reservorio de aguas lluvias y hacer un adecuado tratamiento a las aguas residuales para que se empleen como agua de riego.
- Las labores de riego en las diferentes unidades productivas se deben hacer por personal capacitado, que conozca los principios de funcionamiento y componentes básicos de los sistemas, para evitar falencias en el manejo al regar.
- Al realizar labores de los cultivos como limpias, plateo, etc. alrededor de las unidades de riego y demás componentes del sistema, es necesario que se realicen manualmente para evitar daños por la utilización de instrumentos agrícolas o ser realizadas con la mayor precaución posible.
- Cuando se realicen trabajos propios de los cultivos en el área donde se encuentran instalados los sistema de riego, se debe tener cuidado con las tuberías enterradas para no picarlas o cortarlas; por tanto se recomienda tener dentro de las unidades productivas alguna clase de señalización que demarque el sitio y rumbo de estas conducciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARTUNDUAGA MORENO, Faiver. Base experimental para la determinación de un índice de consumo de agua en palma de aceite. Neiva, 2008, 79 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agrícola
- AUGURA. Sistemas de riego. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 283 p.
- BERLIJN, Johan y BROUWER, Cor. Riego y Drenaje. 2 ed. México: Trillas, 1990. 35 p.
- CIFUENTES PERDOMO, Miguel Germán. Riego a presión: Memorias de clase de riego localizado. Neiva: Universidad Surcolombiana, 2007
- \_\_\_\_\_. Metodología para el diseño de riego a presión caso: Granja la "Universidad" distrito de riego Uso Juncal. Neiva, 2001. 121 p. Trabajo de grado (Especialista en Ingeniería de Irrigación). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Especialización en Ingeniería de Irrigación.
- DAMIAN TORRES, Marlio Darío. Implementación del riego localizado como alternativa para la optimización del uso racional del agua en el cultivo de cacao con sombrío en plátano. Municipio de la Plata. Departamento del Huila. 2008. Neiva, 2008, 62 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agrícola
- LOSADA ORTÍZ, Célico. Evaluación hidráulica con fines de optimización y automatización del sistema de riego del vivero de la CAM sede Neiva. Neiva, 2003, 73 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agrícola.
- NARRO FARÍAS, Eduardo. Física de suelos: con enfoque agrícola. 1 ed. México: Trillas, 1994. 33 p.

- PEREA RIVAS, Jairo de Jesús. El experimento factorial y sus aplicaciones. Neiva. Universidad Surcolombiana, 2000. 32 p.
- PAVCO. Manual Técnico: Sistema de tuberías y accesorios uni-z, uni-safe, y alta presión. 1999, 37 p.
- SALAZAR MOLINA, Carlos y ARANGO TOBÓN, Julio César. Métodos de riego en cultivos bajo cobertizo. Medellín. Universidad Nacional, 2008. 95 p.
- SIERRA SUAZA, Juan Cristóbal. Evaluación hidráulica con fines de optimización del sistema de riego por goteo de la finca “C.I. Flores el Talle S.A” municipio de Mosquera Cundinamarca. Neiva, 2008, 61 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agrícola

# **ANEXOS**

**Anexo A.** Valores de F para la determinación de pérdidas múltiples salidas cuando se aplica la formula de Hazen- Williams

<b>Número de salidas</b>	<b>m = 1,85</b>	<b>Número de salidas</b>	<b>m = 1.85</b>
1	1.0	16	0.382
2	0.639	17	0.380
3	0.535	18	0.379
4	0.486	19	0.377
5	0.457	20	0.376
6	0.435	22	0.374
7	0.425	24	0.372
8	0.415	26	0.370
9	0.409	28	0.369
10	0.402	30	0.368
11	0.397	35	0.365
12	0.394	40	0.364
13	0.391	50	0.361
14	0.387	100	0.356
15	0.384	Más de 100	0.351

Fuente: AUGURA. Sistemas de riego a presión

## Anexo B. Pérdidas de presión en tuberías PVC

### Pérdida de Presión

Según la fórmula Williams & Hazen;

$$f = 0.2083 \left( \frac{100}{C} \right)^{1.85} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.75}}$$

$$f = 0.0985 \frac{Q^{1.85}}{D^{4.75}}$$

- f = Pérdida de presión en Mt/100 Mt.
- Q = Flujo en gals. Por minuto.
- D = Diámetro interior en pulgadas.
- C = Factor de fricción constante: 150 para PVC.

**Tubería RDE 21**  
**Mt/100 Mt**

gal/min.	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"
2	1.80	0.50	0.15	0.04	0.02						
4	6.50	1.82	0.55	0.17	0.09	0.03	0.01				
6	13.77	3.85	1.16	0.37	0.19	0.06	0.02				
8	23.45	6.56	1.98	0.63	0.32	0.11	0.04	0.01			
10	35.43	9.92	3.00	0.96	0.49	0.16	0.06	0.02			
16	84.53	23.68	7.16	2.29	1.18	0.40	0.15	0.06	0.01		
20		35.78	10.82	3.47	1.79	0.60	0.24	0.09	0.02		
26		58.14	17.59	5.64	2.91	0.98	0.38	0.14	0.04		
30		75.76	22.92	7.35	3.80	1.28	0.50	0.19	0.05		
36			32.11	10.30	5.32	1.80	0.71	0.27	0.08		
40			39.03	12.51	6.47	2.19	0.86	0.33	0.09	0.01	
46			50.54	16.21	8.38	2.83	1.12	0.43	0.12	0.02	
50			58.97	18.91	9.78	3.31	1.30	0.50	0.14	0.03	
60			82.63	26.50	13.70	4.63	1.83	0.70	0.20	0.02	
70				35.25	18.22	6.16	2.43	0.93	0.27	0.04	0.01
80				45.13	23.33	7.89	3.11	1.19	0.35	0.05	0.01
90				56.11	29.02	9.82	3.87	1.49	0.43	0.07	0.02
100				68.19	35.26	11.93	4.71	1.81	0.53	0.08	0.02
150						25.26	9.98	3.83	1.12	0.17	0.05
200						43.02	16.99	6.52	1.91	0.29	0.08
250						65.00	25.67	9.86	2.89	0.44	0.12
300						91.08	35.97	13.82	4.06	0.62	0.17
350							47.85	18.38	5.40	0.82	0.23
400							61.25	23.53	6.91	1.06	0.29
450							76.17	29.26	8.60	1.31	0.36
500							92.56	35.56	10.45	1.59	0.44
550								42.42	12.46	1.90	0.53
600								49.83	14.64	2.23	0.62
650								57.78	16.98	2.59	0.72
700								66.27	19.47	2.97	0.82
750								75.30	22.12	3.38	0.93
800								84.85	24.93	3.80	1.05
850								94.92	27.89	4.25	1.18
900									31.00	4.73	1.31
1000									37.68	5.75	1.59
1100									44.94	6.86	1.89
1200									52.79	8.05	2.22
1300									61.22	9.34	2.58
1400									70.21	10.71	2.96
1500									79.77	12.17	3.36
1600									89.89	13.71	3.79
1700										15.34	4.24
1800										17.05	4.71
1900										18.84	5.20
2000										20.72	5.72
2500											8.65
3000											12.11
3500											16.11
4000											20.63

**Tubería RDE 26**  
**Mt/100 Mt**

gal/min.	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"
6	0.05	0.02				
8	0.10	0.03	0.10			
10	0.15	0.06	0.02			
16	0.36	0.14	0.05	0.01		
20	0.55	0.21	0.08	0.02		
26	0.89	0.35	0.13	0.03		
30	1.16	0.45	0.17	0.05		
36	1.63	0.64	0.24	0.07		
40	1.98	0.78	0.30	0.08	0.01	
46	2.57	1.01	0.39	0.11	0.02	
50	2.99	1.18	0.45	0.13	0.02	
60	4.20	1.65	0.63	0.18	0.03	
70	5.58	2.20	0.84	0.24	0.04	0.01
80	7.15	2.82	1.08	0.31	0.05	0.01
90	8.89	3.50	1.35	0.39	0.06	0.02
100	10.81	4.26	1.64	0.48	0.07	0.02
150	22.89	9.03	3.47	1.02	0.16	0.04
200	38.98	15.37	5.92	1.74	0.27	0.07
250	58.90	23.23	8.95	2.63	0.40	0.11
300	82.53	32.55	12.54	3.68	0.56	0.16
350		43.29	16.67	4.90	0.75	0.21
400		55.43	21.55	6.27	0.96	0.26
450		68.92	26.55	7.80	1.19	0.33
500		83.75	32.26	9.48	1.45	0.40
550		99.91	38.48	11.31	1.72	0.48
600			45.21	13.29	2.02	0.56
650			52.42	15.41	2.35	0.65
700			60.12	17.67	2.69	0.75
750			68.31	20.08	3.06	0.85
800			76.97	22.63	3.45	0.95
850			86.11	25.31	3.86	1.07
900			95.72	28.14	4.29	1.19
1000				34.19	5.21	1.44
1100				40.79	6.21	1.72
1200				47.91	7.30	2.02
1300				55.56	8.46	2.34
1400					9.71	2.69
1500					11.03	3.05
1600					12.43	3.44

**Tubería RDE 32.5**  
**Mt/100 Mt**

gal/min.	3"	4"	6"	8"
10	0.02			
16	0.05	0.01		
20	0.08	0.02		
26	0.13	0.04		
30	0.16	0.05		
36	0.23	0.07		
40	0.28	0.08	0.01	
46	0.36	0.11	0.02	
50	0.42	0.12	0.02	
60	0.59	0.17	0.03	
70	0.78	0.23	0.04	
80	1.00	0.29	0.04	0.01
90	1.25	0.37	0.06	0.02
100	1.52	0.45	0.07	0.02
150	3.21	0.94	0.14	0.04
200	5.46	1.61	0.24	0.07
250	8.26	2.43	0.37	0.10
300	11.57	3.40	0.52	0.14
350	15.75	4.52	0.69	0.19
400	19.70	5.79	0.88	0.24
450	24.50	7.20	1.10	0.30
500	29.77	8.75	1.33	0.37
550	35.51	10.43	1.59	0.44
600	41.71	12.25	1.87	0.52
650	48.36	14.21	2.17	0.60
700	55.47	16.31	2.48	0.69
750	63.02	18.52	2.82	0.78
800	71.20	20.86	3.18	0.88
850	79.45	23.34	3.56	0.98
900	88.30	25.95	3.96	1.09
1000		31.53	4.81	1.33
1100		37.61	5.73	1.59
1200		44.18	6.74	1.86
1300		51.23	7.81	2.16
1400		58.75	8.96	2.48
1500		66.75	10.18	2.81
1600		75.22	11.47	3.17
1700		84.15	12.83	3.55
1800			14.26	3.94

**Tubería RDE 41**  
**Mt/100 Mt**

gal/min.	4"	6"	8"
10	0.01		
16	0.01		
20	0.02		
26	0.03		
30	0.05		
36	0.06		
40	0.08	0.01	
46	0.10	0.02	
50	0.12	0.02	
60	0.16	0.02	
70	0.22	0.03	
80	0.28	0.04	0.01
90	0.34	0.05	0.01
100	0.42	0.06	0.02
150	0.88	0.13	0.04
200	1.51	0.23	0.06
250	2.28	0.35	0.10
300	3.19	0.49	0.13
350	4.24	0.65	0.18
400	5.43	0.83	0.23
450	6.67	1.04	0.28
500	8.20	1.28	0.35
550	9.78	1.49	0.41
600	11.49	1.75	0.48
650	13.33	2.03	0.56
700	15.29	2.33	0.64
750	17.37	2.64	0.73
800	19.57	2.98	0.82
850	21.89	3.33	0.92
900	24.33	3.71	1.02
1000	29.57	4.50	1.25
1100	35.27	5.37	1.49
1200	41.43	6.31	1.74
1300	48.05	7.32	2.02
1400	55.11	8.39	2.32
1500	62.61	9.53	2.64
1600	70.55	10.84	2.97
1700	78.92	12.02	3.32
1800		13.26	3.69

**Fuente:** PAVCO. Manual técnico.

### Anexo C. Pérdidas de presión en tuberías PR

En la combinación de las fórmulas de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach

$$J = 8.38 \times 10^6 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75}$$

Siendo:

J = Pérdida en metros/100m

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/h

D = Diámetro interno en mm

		Tubería PR 35 Diámetros (mm)							
Lit/min	M <sup>3</sup> /h	12	16	20	25	32	40	50	63
		9.80	13.60	17.00	22.00	28.20	35.20	44.00	55.40
0.05	0.00	0.01							
0.10	0.01	0.02							
0.20	0.01	0.07							
0.40	0.02	0.24							
0.80	0.05	0.81							
1.00	0.06	1.19							
1.50	0.09	2.43							
2.00	0.12	4.01							
2.50	0.15	5.98							
3.00	0.18	8.16							
3.50	0.21	10.60							
4.00	0.24	13.50							
4.50	0.27	16.59							
5.00	0.30	19.96							
5.50	0.33	23.57							
6.00	0.36	27.44							
6.50	0.39	31.57							
7.00	0.42	35.94							
7.50	0.45	40.55							
8.00	0.48	45.40							
8.50	0.51	50.49							
9.00	0.54	55.80							
9.50	0.57	61.33							
10.00	0.60	67.09							
11.00	0.68	79.27							
12.00	0.72	92.31							
13.00	0.78								
14.00	0.84								
15.00	0.90								
16.00	0.96								
17.00	1.02								
18.00	1.08								
19.00	1.14								
20.00	1.20								
21.00	1.26								
22.00	1.32								
23.00	1.38								
24.00	1.44								
25.00	1.50								
26.00	1.58								
27.00	1.62								
28.00	1.68								
29.00	1.74								
30.00	1.80								
32.00	1.92								
34.00	2.04								
36.00	2.16								
38.00	2.28								
40.00	2.40								
42.00	2.52								
44.00	2.64								
46.00	2.76								
48.00	2.88								
50.00	3.00								
52.00	3.12								
54.00	3.24								

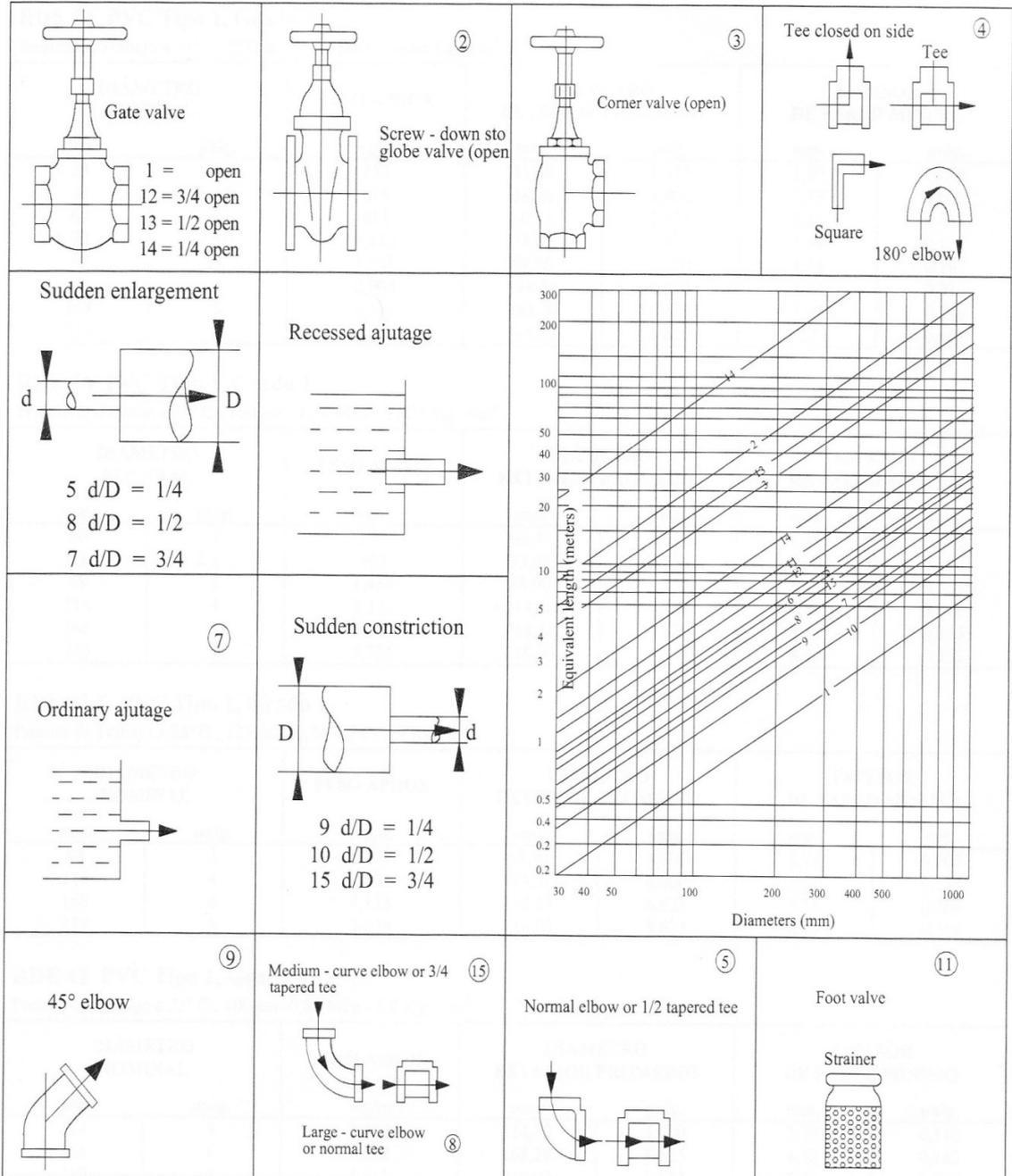
Fuente: PAVCO. Manual técnico

**Anexo D. Perdidas de carga en accesorios – Longitud equivalente (Le) en metros de tubería recta del diámetro nominal**

DIÁMETRO		Codo 90° Radio largo	Codo 90° Radio medio	Codo 90° Radio corto	Codo 45°	Curva 90° R/D 1 1/2	Curva 90° R/D 1	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borde	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Te paso directo	Te salida lateral	Te salida bilateral	Válvula de pie	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado
mm	pulg.																		
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1	1	3,6	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,4	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	25,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	57,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	28,0	45,0

**Fuente:** CECIL. Hidráulica de un sistema de riego a presión. Javier E. Vergara M.

## Anexo E. Longitud equivalente (Le) por accesorios



Fuente: Esp. Miguel Germán Cifuentes P. Memorias de clase de riego localizado

## Anexo F. Relación diámetro – espesor para tuberías PVC y PR

### RDE 21 PVC Tipo 1, Grado 1

Presión de trabajo a 23°C; 200 psi – 1,38 Mpa – 14,06 kg/cm<sup>2</sup>

DIAMETRO NOMINAL		PESO APROX gr/m	DIAMETRO EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR DE PARED MÍNIMO	
mm.	pulg.		mm.	pulg.	mm.	pulg.
21	1/2	125	21,34	0,840	1,30	0,051
33	1	252	33,40	1,315	1,60	0,063
48	1 1/2	514	48,26	1,900	2,29	0,090
60	2	811	60,33	2,375	2,87	0,113
73	2 1/2	1,185	73,03	2,875	3,48	0,137
88	3	1,761	88,90	3,500	4,24	0,167

Fuente: PAVCO. Manual técnico

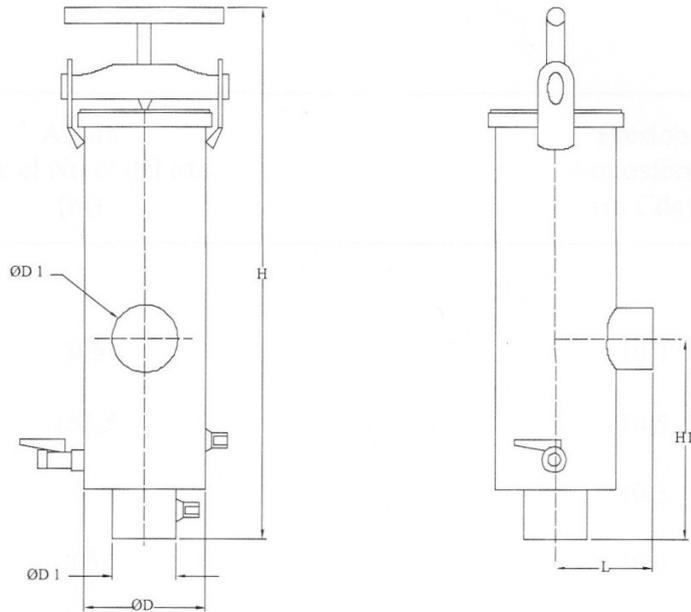
### Tuberías PR

Presión de trabajo a 20°C; 35 psi – 2,5 Kg/cm<sup>2</sup>

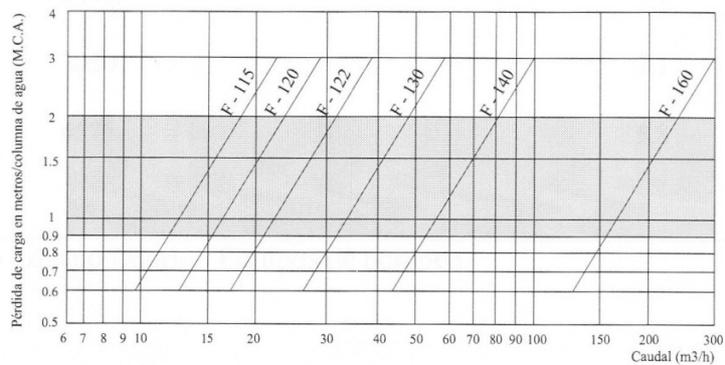
DIAMETRO NOMINAL		PESO APROX gr/m	DIAMETRO EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR DE PARED MÍNIMO	
mm.	pulg.		mm.	pulg.	mm.	pulg.
12	3/8	37	12	0,472	1,10	0,043
16	1/2	52	16	0,630	1,20	0,047
20	3/4	81	20	0,787	1,50	0,059
25	1	102	25	0,984	1,50	0,059

Fuente: PAVCO. Manual técnico

## Anexo G. Perdidas de carga en filtros de malla – discos



Modelo Ref.	Caudal	ØD (Pulgadas)	ØD 1 (Pulgadas)	H (mm.)	H1 (mm.)	L (mm.)	Peso (Kg.)	Volumen (m <sup>3</sup> )
F - 115	11-18 (m <sup>3</sup> /h)	4	1 1/5	450	225	95	7	0.016
F - 120	13 - 23 (m <sup>3</sup> /h)	6	2	485	240	129	14	0.032
F - 122	19 - 30 (m <sup>3</sup> /h)	6	2	725	255	129	19	0.048
F - 130	30 - 48 (m <sup>3</sup> /h)	6	3	740	270	140	20	0.048
F - 140	50 - 80 (m <sup>3</sup> /h)	8	4	855	325	190	27	0.095
F - 160	100 - 180 (m <sup>3</sup> /h)	10	6	1240	480	217	56	0.142



Fuente: IRRIMON S.A. Filtros Mondragón.

## Anexo H. Valores de F

gl del denominador	Probabilidad de un valor más alto de $F$	gl del numerador								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	0,100	2,89	2,50	2,28	2,15	2,06	1,99	1,93	1,89	1,86
	0,050	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
	0,025	5,59	4,20	3,61	3,27	3,04	2,88	2,76	2,67	2,59
	0,010	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09
	0,005	9,23	6,40	5,28	4,66	4,26	3,98	3,77	3,61	3,48
30	0,100	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85
	0,050	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
	0,025	5,57	4,18	3,59	3,25	3,03	2,87	2,75	2,65	2,57
	0,010	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07
	0,005	9,18	6,35	5,24	4,62	4,23	3,95	3,74	3,58	3,45
40	0,100	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79
	0,050	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
	0,025	5,42	4,05	3,46	3,13	2,90	2,74	2,62	2,53	2,45
	0,010	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89
	0,005	8,83	6,07	4,98	4,37	3,99	3,71	3,51	3,35	3,22
60	0,100	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74
	0,050	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
	0,025	5,29	3,93	3,34	3,01	2,79	2,63	2,51	2,41	2,33
	0,010	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72
	0,005	8,49	5,79	4,73	4,14	3,76	3,49	3,29	3,13	3,01
120	0,100	2,75	2,35	2,13	1,99	1,90	1,82	1,77	1,72	1,68
	0,050	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,20	1,96
	0,025	5,15	3,80	3,23	2,89	2,67	2,52	2,39	2,30	2,22
	0,010	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56
	0,005	8,18	5,54	4,50	3,92	3,55	3,28	3,09	2,93	2,81
$\infty$	0,100	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63
	0,050	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88
	0,025	5,20	3,69	3,12	2,79	2,57	2,41	2,29	2,19	2,11
	0,010	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41
	0,005	7,88	5,30	4,28	3,72	3,35	3,09	2,90	2,74	2,62

Fuente: *Steel/Torrie*. Bioestadística: Principios y procedimientos

## Anexo H. Continuación

<i>gl</i> del numerador											
10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$	<i>P</i>	<i>gl</i>
1,83	1,78	1,73	1,68	1,65	1,62	1,58	1,55	1,51	1,47	0,100	29
2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64	0,050	
2,53	2,43	2,32	2,21	2,15	2,09	2,03	1,96	1,89	1,81	0,025	
3,00	2,87	2,73	2,57	2,49	2,41	2,33	2,23	2,14	2,03	0,010	
3,38	3,21	3,04	2,86	2,76	2,66	2,56	2,45	2,33	2,21	0,005	
1,82	1,77	1,72	1,67	1,64	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46	0,100	30
2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62	0,050	
2,51	2,41	2,31	2,20	2,14	2,07	2,01	1,94	1,87	1,79	0,025	
2,98	2,84	2,70	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01	0,010	
3,34	3,18	3,01	2,82	2,73	2,63	2,52	2,42	2,30	2,18	0,005	
1,76	1,71	1,66	1,61	1,57	1,54	1,51	1,47	1,42	1,38	0,100	40
2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51	0,050	
2,39	2,29	2,18	2,07	2,01	1,94	1,88	1,80	1,72	1,64	0,025	
2,80	2,66	2,52	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92	1,80	0,010	
3,12	2,95	2,78	2,60	2,50	2,40	2,30	2,18	2,06	1,93	0,005	
1,71	1,66	1,60	1,54	1,51	1,48	1,44	1,40	1,35	1,29	0,100	60
1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39	0,050	
2,27	2,17	2,06	1,94	1,88	1,82	1,74	1,67	1,58	1,48	0,025	
2,63	2,50	2,35	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60	0,010	
2,90	2,74	2,57	2,39	2,29	2,19	2,08	1,96	1,83	1,69	0,005	
1,65	1,60	1,55	1,48	1,45	1,41	1,37	1,32	1,26	1,19	0,100	120
1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25	0,050	
2,16	2,06	1,94	1,82	1,76	1,69	1,61	1,53	1,43	1,31	0,025	
2,47	2,34	2,19	2,03	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38	0,010	
2,71	2,54	2,37	2,19	2,09	1,98	1,87	1,75	1,61	1,43	0,005	
1,60	1,55	1,49	1,42	1,38	1,34	1,30	1,24	1,17	1,00	0,100	$\infty$
1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00	0,050	
2,05	1,94	1,83	1,71	1,64	1,57	1,48	1,39	1,27	1,00	0,025	
2,32	2,18	2,04	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,32	1,00	0,010	
2,52	2,36	2,19	2,00	1,90	1,79	1,67	1,53	1,36	1,00	0,005	

**Anexo I. Puntos porcentuales superiores de la amplitud studentizada,**  
 $q_{\infty} = (\bar{Y}_{max} - \bar{Y}_{min})/S_{\bar{Y}}$

gl del error	$\alpha$	$\rho = \text{número de medias de tratamiento}$									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	0,05	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	6,99	7,17
	0,01	5,70	6,97	7,80	8,42	8,91	9,32	9,67	9,97	10,24	10,48
6	0,05	3,46	4,34	4,90	5,31	5,63	5,89	6,12	6,32	6,49	6,65
	0,01	5,24	6,33	7,03	7,56	7,97	8,32	8,61	8,87	9,10	9,30
7	0,05	3,34	4,16	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16	6,30
	0,01	4,95	5,92	6,54	7,01	7,37	7,68	7,94	8,17	8,37	8,55
8	0,05	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,05
	0,01	4,74	5,63	6,20	6,63	6,96	7,24	7,47	7,68	7,87	8,03
9	0,05	3,20	3,95	4,42	4,76	5,02	5,24	5,43	5,60	5,74	5,87
	0,01	4,60	5,43	5,96	6,35	6,66	6,91	7,13	7,32	7,49	7,65
10	0,05	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60	5,72
	0,01	4,48	5,27	5,77	6,14	6,43	6,67	6,87	7,05	7,21	7,36
11	0,05	3,11	3,82	4,26	4,57	4,82	5,03	5,20	5,35	5,49	5,61
	0,01	4,39	5,14	5,62	5,97	6,25	6,48	6,67	6,84	6,99	7,13
12	0,05	3,08	3,77	4,20	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,40	5,51
	0,01	4,32	5,04	5,50	5,84	6,10	6,32	6,51	6,67	6,81	6,94
13	0,05	3,06	3,73	4,15	4,45	4,69	4,88	5,05	5,19	5,32	5,43
	0,01	4,26	4,96	5,40	5,73	5,98	6,19	6,37	6,53	6,67	6,79
14	0,05	3,03	3,70	4,11	4,41	4,64	4,83	4,99	5,13	5,25	5,36
	0,01	4,21	4,89	5,32	5,63	5,88	6,08	6,26	6,41	6,54	6,66
15	0,05	3,01	3,67	4,08	4,37	4,60	4,78	4,94	5,08	5,20	5,31
	0,01	4,17	4,83	5,25	5,56	5,80	5,99	6,16	6,31	6,44	6,55
16	0,05	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90	5,03	5,15	5,26
	0,01	4,13	4,78	5,19	5,49	5,72	5,92	6,08	6,22	6,35	6,46
17	0,05	2,98	3,63	4,02	4,30	4,52	4,71	4,86	4,99	5,11	5,21
	0,01	4,10	4,74	5,14	5,43	5,66	5,85	6,01	6,15	6,27	6,38
18	0,05	2,97	3,61	4,00	4,28	4,49	4,67	4,82	4,96	5,07	5,17
	0,01	4,07	4,70	5,09	5,38	5,60	5,79	5,94	6,08	6,20	6,31
19	0,05	2,96	3,59	3,98	4,25	4,47	4,65	4,79	4,92	5,04	5,14
	0,01	4,05	4,67	5,05	5,33	5,55	5,73	5,89	6,02	6,14	6,25
20	0,05	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01	5,11
	0,01	4,02	4,64	5,02	5,29	5,51	5,69	5,84	5,97	6,09	6,19
24	0,05	2,92	3,53	3,90	4,17	4,37	4,54	4,68	4,81	4,92	5,01
	0,01	3,96	4,54	4,91	5,17	5,37	5,54	5,69	5,81	5,92	6,02
30	0,05	2,89	3,49	3,84	4,10	4,30	4,46	4,60	4,72	4,83	4,92
	0,01	3,89	4,45	4,80	5,05	5,24	5,40	5,54	5,65	5,76	5,85
40	0,05	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,74	4,82
	0,01	3,82	4,37	4,70	4,93	5,11	5,27	5,39	5,50	5,60	5,69
60	0,05	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65	4,73
	0,01	3,76	4,28	4,60	4,82	4,99	5,13	5,25	5,36	5,45	5,53
120	0,05	2,80	3,36	3,69	3,92	4,10	4,24	4,36	4,48	4,56	4,64
	0,01	3,70	4,20	4,50	4,71	4,87	5,01	5,12	5,21	5,30	5,38
$\infty$	0,05	2,77	3,31	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,47	4,55
	0,01	3,64	4,12	4,40	4,60	4,76	4,88	4,99	5,08	5,16	5,23

**Fuente:** Steel/Torrie. Bioestadística: Principios y procedimientos

## Anexo I. Continuación

$\rho$ = número de medias de tratamiento									$\alpha$	gl del error
12	13	14	15	16	17	18	19	20		
7,32 10,70	7,47 10,89	6,60 11,08	7,72 11,24	7,83 11,40	7,93 11,55	8,03 11,68	8,12 11,81	8,21 11,93	0,05 0,01	5
6,79 9,49	6,92 9,65	7,03 9,81	7,14 9,95	7,24 10,08	7,34 10,21	7,43 10,32	7,51 10,43	7,59 10,54	0,05 0,01	6
6,43 8,71	6,55 8,86	6,66 9,00	6,76 9,12	6,85 9,24	6,94 9,35	7,02 9,46	7,09 9,55	7,17 9,65	0,05 0,01	7
6,18 8,18	6,29 8,31	6,39 8,44	6,48 8,55	6,57 8,66	6,65 8,76	6,73 8,85	6,80 8,94	6,87 9,03	0,05 0,01	8
5,98 7,78	6,09 7,91	6,19 8,03	6,28 8,13	6,36 8,23	6,44 8,32	6,51 8,41	6,58 8,49	6,64 8,57	0,05 0,01	9
5,83 7,48	5,93 7,60	6,03 7,71	6,11 7,81	6,20 7,91	6,27 7,99	6,34 8,07	6,40 8,15	6,47 8,22	0,05 0,01	10
5,71 7,25	5,81 7,36	5,90 7,46	5,99 7,56	6,06 7,65	6,14 7,73	6,20 7,81	6,26 7,88	6,33 7,95	0,05 0,01	11
5,62 7,06	5,71 7,17	5,86 7,26	5,88 7,36	5,95 7,44	6,03 7,52	6,09 7,59	6,15 7,66	6,21 7,73	0,05 0,01	12
5,53 6,90	5,63 7,01	5,71 7,10	5,79 7,19	5,86 7,27	5,93 7,34	6,00 7,42	6,05 7,48	6,11 7,55	0,05 0,01	13
5,46 6,77	5,55 6,87	5,64 6,96	5,72 7,05	5,79 7,12	5,85 7,20	5,92 7,27	5,97 7,33	6,03 7,39	0,05 0,01	14
5,40 6,66	5,49 6,76	5,58 6,84	5,65 6,93	5,72 7,00	5,79 7,07	5,85 7,14	5,90 7,20	5,96 7,26	0,05 0,01	15
5,35 6,56	5,44 6,66	5,52 6,74	5,59 6,82	5,66 6,90	5,72 6,97	5,79 7,03	5,84 7,09	5,90 7,15	0,05 0,01	16
5,31 6,48	5,39 6,57	5,47 6,66	5,55 6,73	5,61 6,80	5,68 6,87	5,74 6,94	5,79 7,00	5,84 7,05	0,05 0,01	17
5,27 6,41	5,35 6,50	5,43 6,58	5,50 6,65	5,57 6,72	5,63 6,79	5,69 6,85	5,74 6,91	5,79 6,96	0,05 0,01	18
5,23 6,34	5,32 6,43	5,39 6,51	5,46 6,58	5,53 6,65	5,59 6,72	5,65 6,78	5,70 6,84	5,75 6,89	0,05 0,01	19
5,20 6,29	5,28 6,37	5,36 6,45	5,43 6,52	5,49 6,59	5,55 6,65	5,61 6,71	5,66 6,76	5,71 6,82	0,05 0,01	20
5,10 6,11	5,18 6,19	5,25 6,26	5,32 6,33	5,38 6,39	5,44 6,45	5,50 6,51	5,54 6,56	5,59 6,61	0,05 0,01	24
5,00 5,93	5,08 6,01	6,15 6,80	5,21 6,14	5,27 6,20	5,33 6,26	5,38 6,31	5,43 6,36	5,48 6,41	0,05 0,01	30
4,91 5,77	4,98 5,84	5,05 5,90	5,11 5,96	5,16 6,02	5,22 6,07	5,27 6,12	5,31 6,17	5,36 6,21	0,05 0,01	40
4,81 5,60	4,88 5,67	4,94 5,73	5,00 5,79	5,06 5,84	5,11 5,89	5,16 5,93	5,20 5,98	5,24 6,02	0,05 0,01	60
4,72 5,44	4,78 5,51	4,84 5,56	4,90 5,61	4,95 5,66	5,00 5,71	5,05 5,75	5,09 5,79	5,13 5,83	0,05 0,01	120
4,62 5,29	4,68 5,35	4,74 5,40	4,80 5,45	4,85 5,49	4,89 5,54	4,93 5,57	4,97 5,61	5,01 5,65	0,05 0,01	$\infty$

**Anexo J. Concesión de Aguas Superficiales Tecnoparque 7  
Agroecológico Yamboró**



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR

RESOLUCION N° 0914 de 2006

( 31 MAY 2006 )

**POR MEDIO DE LA CUAL SE OTORGA UNA CONCESION DE  
AGUAS SUPERFICIALES**

El Director De La Territorial Sur De La Corporación Autónoma Regional Del Alto Magdalena CAM, en uso de sus facultades legales y en especial las que le confiere la Ley 99 de 1993, Decreto 1541 de 1978, Resolución N° 0295 de 2002, Resolución N° 0434 del 2005, Resolución 1301 de 2006 y

**CONSIDERANDO**

Que ante las oficinas de la CAM, en el Municipio de Pitalito – Huila, el señor **HENRY LIZCANO PARRA**, con cédula de ciudadanía No 12.139.136, Actuando en calidad de Subdirector del Centro Multisectorial del SENA CMS Pitalito, solicito **CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES**, de la quebrada “**SECA O EL MACO**”, localizado en la vereda Aguadas del municipio de Pitalito, para el proyecto “**ESCUELA DE FORMACIÓN AGROPECUARIA (EFAS) YAMBORO**” a desarrollarse en el predio denominado “Yamboro” ubicado en la vereda Aguadas del municipio de Pitalito, en una cantidad de 3.41 litros / segundo.

Mediante auto de iniciación N° 065 del 25 de abril del 2006, fue admitida la solicitud, se ordenó su publicación mediante aviso, en la cartelera de la Corporación DTS y la Alcaldía de Pitalito a fin de garantizar las oposiciones a lo pedido. De igual manera se fijo el aviso en las instalaciones de esta entidad y se dispuso la práctica de la visita de inspección ocular.

Dando cumplimiento a lo dispuesto se desplazó el funcionario comisionado a la realización de la visita al sitio del proyecto en la vereda Aguadas del municipio de Pitalito Huila, con el objeto de analizar la solicitud de concesión de aguas superficiales de la fuente “ La Seca”, para el proyecto en mención.

Que en las visitas realizada por la Dirección Territorial Sur se destacaron los siguientes puntos en el concepto técnico:

**1. OBSERVACIONES GENERALES DEL PROYECTO**

En la vereda Aguadas del municipio de Pitalito, el centro Multisectorial del sur SENA, propone desarrollar el proyecto integrador Escuela de Formación

**Construyendo una cultura de convivencia del Huilense con su naturaleza. 1  
Kilómetro 4-Vía san Agustín. Telefax 360506**

## Anexo J. Continuación



**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR**

Agropecuaria Sostenible (EFAS), ha realizarse en el predio Yamboro; el proyecto consiste en demostrar una producción y productividad agropecuaria sostenible, con aplicación de tecnologías limpias, teniendo en cuenta la aptitud de uso y manejo de los suelos del área del proyecto.

El proyecto se divide en diferentes Sectores generales entre las cuales están:

- “Desarrollo de la producción Pecuaria”; Ganadería se desarrolla en 4 Has 4120 m<sup>2</sup> en pastos, 230.66M<sup>2</sup> para establo y 686.97 M<sup>2</sup> en corral y 2 HAS 6223 M<sup>2</sup> para piscicultura.
- Producción Agrícola, ecológica y Forestal; Café orgánico, caña panelera, frutales, cultivos pancoger, hortalizas, Plantas medicinales, Invernadero, Hongos comestibles, Banco propagación de la guadua, Pastos de corte, banco de proteínas, bambú bosque y cultivo de guadua; se desarrollará en un área total de 52 HAS 2296 M<sup>2</sup>.
- Poscosecha, Agroindustria y agroturismo, Energía alternativa, Ebanistería, unidad de producción de insumos biológicos.

### **2. ZONA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO EFAS**

La captación de agua del para el desarrollo del proyecto EFAS se realiza de la quebrada **La Seca**, a los 1410 MSNM, a la altura de la vereda Aguadas del municipio de Pitalito. La microcuenca de la quebrada La Seca, esta formada por las veredas Montebonito, zona de nacimiento, Vereda Aguadas y La Paz donde desemboca al Río Guarapas, en un recorrido total aproximado de 8 kilómetros.

Sobre la microcuenca se observo deficiencia en la zona de protección de la quebrada, tanto en el nacimiento como el cauce, algunas zonas presentan pequeños relictos de bosque ripario; la vegetación natural esta muy intervenida con presencia de cultivos de café y asentamientos humanos alledaños al cauce en la parte alta y media de la microcuenca lo que potencialmente puede afectar la calidad del agua.

### **3. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO**

El sistema de acueducto funciona por gravedad, cuenta con la infraestructura necesaria para el funcionamiento como sistema; la captación se realiza con bocatoma de fondo, desarenador – tanque de almacenamiento, para luego ser conducida hasta un reservorio con un área de 4167 metros cuadrados el cual surte el área de lagos, a través de otro ramal se deriva el agua para consumo domestico y el área de riego y agropecuario.

### **4. CAUDAL NECESARIO PARA CONSUMO DEL PROYECTO.**

***Construyendo una cultura de convivencia del Huilense con su naturaleza. 2  
Kilómetro 4-Vía san Agustín. Telefax 360506***

## Anexo J. Continuación



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR

Teniendo el balance hídrico presentado con las respectivas necesidades de consumo se tiene los siguientes requerimientos:

### • CALCULOS

USOS	CANTIDAD	MODULO	Caudal (lts/seg)
Abrevaderos	10 Gv.	0.01 lts/seg/cab	0.11
Riego cultivos	6 has	0.008 lts/seg/has	0.048
Piscicultura	1 ha	1.6 lts/seg Recarga	1.60
Uso domestico	60 hab	200 lts/hab/dia	0.14
<b>CAUDAL NECESARIO PARA LA SOLICITUD</b>			<b>1.90</b>

### 5. AFOROS DE LA FUENTE

El día de la visita a la fuente "LA SECA", se realizo un recorrido por el proyecto en el predio Yamboro hasta la zona de captación en el cauce de la quebrada, en la vereda Aguadas del municipio de Pitalito; se aforo la fuente aguas arriba de la bocatoma por el método Volumétrico, realizando 5 mediciones para luego promediar los resultados; registrando un caudal de 11 LPS en época de lluvias moderadas, según los interesados asistentes a la visita en tiempo de intenso verano el caudal disminuye en un 40% del caudal registrado en la visita, es decir el caudal de verano intenso podría disminuir hasta 6.6 lps y el concesionado es 1.9 lps, se registraría un remanente de 4.7 lps para garantizar el caudal ecológico de la fuente y beneficio para los usuarios de aguas abajo de la bocatoma.

### 6. PERJUICIOS A TERCEROS

El proyecto no repercute ni perjudica a terceros, según el caudal aforado y el concepto técnico emitido; Sin embargo se hace claridad que en el momento de presentarse alguna afectación de tipo ambiental o a terceros por las obras de captación, conducción, transporte y/o entrega final, es responsabilidad de los interesados de la Concesión como usuarios, redimir los impases ocurridos, indicando claramente que el incumplimiento de las acciones aquí dispuestas son de obligatorio cumplimiento

### 7. PERMISO DE SERVIDUMBRE

Los permisos de servidumbre correrán por cuenta de los interesados. La concesión de aguas no implica la adjudicación de permisos de servidumbre según lo contemplado en el Decreto 1541 de 1978.

### 8. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

**Construyendo una cultura de convivencia del Huilense con su naturaleza. 3**  
**Kilómetro 4-Vía san Agustín. Telefax 360506**

## Anexo J. Continuación



**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR**

Según los cálculos realizados, el caudal a otorgar es de 1.9 lts/seg, para beneficio del proyecto EFAS desarrollado por el Centro Multisectorial del SENA CMS Pitalito, ha ubicarse en la vereda Aguadas, predio Yamboro del municipio de Pitalito; en caso de verano intenso y debido a que no se tiene registros históricos del caudal de la fuente La Seca, el usuario solo podrá captar máximo el 20% del caudal total de la Fuente, para garantizar el uso del recurso aguas debajo de la bocatoma.

El remanente de agua debe ir hacia la fuente para garantizar el caudal ecológico aguas abajo de la captación en la fuente, en el caso de la tubería de descole y lavado del desarenador y el tanque de almacenamiento. En caso de daños graves e irreversibles hacia el medio ambiente se dará aplicación al principio de precaución establecido en la ley 99/93 en su artículo 1 numeral 4.

### **9. OPOSICIONES.**

No existe ningún tipo de oposición a la presente solicitud de concesión de aguas radicada en esta Corporación o hecha saber en el momento de la visita para el respectivo aforo y reconocimiento de la zona.

***Acogiendo el concepto este despacho***

### **RESUELVE**

**ARTICULO PRIMERO:** Otorgar concesión de aguas superficiales de la fuente “LA SECA” a los 1410 MSNM, a la altura de la vereda Aguadas del municipio de Pitalito; para surtir la necesidad de demanda de agua del proyecto “ESCUELA DE FORMACIÓN AGROPECUARIA (EFAS) YAMBORO”; solicitada por el Señor **HENRY LIZCANO PARRA**, cédula de ciudadanía No 12.139.136, Actuando en calidad de Subdirector del Centro Multisectorial del SENA CMS Pitalito, en una cantidad de 1.9 lts/seg en forma permanente, para los usos estipulados en el concepto técnico, por término de diez (10) años conforme lo estipulado en el artículo 39 del decreto 1541 de 1978.

**ARTICULO SEGUNDO:** La presente concesión implica el establecimiento de servidumbre en interés privado, por lo tanto sobre los predios en los cuales se ubiquen las obras de captación y control, la constitución de servidumbre que sea necesaria la gestionará el interesado de acuerdo con lo preceptuado en el Decreto 2811/74 y Decreto 1541/78.

**ARTICULO TERCERO:** Para garantizar los caudales concedidos el solicitante deberá construir y acondicionar a su propio costo las obras hidráulicas necesarias para la captación, conducción del agua y control de caudales. En todo caso las obras de captación deberán estar provistas de los elementos necesarios que permitan conocer en cualquier momento la cantidad de agua que se derive como está fijado en la Ley 373 del 06 de junio de 1997.

***Construyendo una cultura de convivencia del Huilense con su naturaleza. 4  
Kilómetro 4-Vía san Agustín. Telefax 360506***

## Anexo J. Continuación



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR

**ARTICULO CUARTO:** El suministro de agua para satisfacer concesiones esta sujeto a la disponibilidad del recurso, por lo tanto el estado no es responsable cuando por causas naturales, no pueda garantizar el caudal concedido. La procedencia cronológica en las concesiones no otorga prioridad y en caso de escasez todas serán abastecidas a turnos, conforme al artículo 122 del decreto 1541/78.

**ARTICULO QUINTO:** El concesionario deberá dar cumplimiento a los artículos 37, 38 y 39 del Decreto 1594 de 1984 y Normas descritas en el Decreto 0475/78 para potabilizar el agua y cumplir con la norma de los estándares bacteriológicos.

**ARTICULO SEXTO:** De acuerdo a la Ley 99/93 y el Decreto 2811 de 1974, en su Título VII en su artículo 159, las tasas fijadas por el Gobierno Nacional deberán ser canceladas cada año en las oficinas de recaudo de la corporación y se destinarán al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos una vez se legalice la concesión.

**ARTICULO SEPTIMO:** Debe destinarse no menos del 1% del total de la inversión del proyecto, para la recuperación, preservación o en obras o acciones que conserven la cuenca hidrográfica de la fuente, tal como lo estipula el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993

**ARTICULO OCTAVO:** los beneficiarios solo podrán utilizar el caudal otorgado en esta concesión. Su incumplimiento dará lugar a las sanciones previstas en el Código de los Recursos Naturales y su Decreto reglamentario, además será causal de caducidad el incumplimiento de las obligaciones expresamente señaladas en esta providencia, y las previstas en el artículo 248 del Decreto 1541 de 1978.

**ARTICULO NOVENO:** La Corporación se reserva la facultad de revisar, modificar o revocar en cualquier momento la concesión de agua concedido, cuando encontrare variación en sus caudales o acorde a la conveniencia pública.

**ARTICULO DECIMO:** El señor **HENRY LIZCANO PARRA**, con cédula de ciudadanía No 12.139.136, o quien haga sus veces de Subdirector del Centro Multisectorial del SENA CMS Pitalito, se compromete a conservar y proteger las áreas, establecida en el Decreto 1449/78 como zona de conservación y protección forestal, tanto del nacimiento como del cauce de la fuente, a través de un Programa de Recuperación y conservación forestal en la microcuenca de la quebrada La Seca.

**ARTICULO UNDECIMO:** Notificar personalmente el contenido de esta resolución, al señor **HENRY LIZCANO PARRA**, cédula de ciudadanía No 12.139.136, o quien haga sus veces de Subdirector del Centro Multisectorial del SENA CMS Pitalito, haciéndole saber que en contra la presente resolución procede únicamente el recurso de reposición dentro de los cinco (5) días siguientes a su notificación.

***Construyendo una cultura de convivencia del Huilense con su naturaleza. 5***  
***Kilómetro 4-Vía san Agustín. Telefax 360506***

## Anexo J. Continuación



**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM  
DIRECCION TERRITORIAL SUR**

**ARTICULO DECIMO SEGUNDO:** El beneficiario de la Presente Concesión, ejecutoriada la presente Resolución hará su publicación del encabezamiento y la parte resolutive de la resolución que otorga esta concesión de aguas en la Gaceta Ambiental de esta entidad, aun costo de \$18.000.00 hoja, valor que será cancelado en la pagaduría de esta entidad o consignado en la cuenta 28706426-5 Banca fe, CAM Gastos generales; lo cual se hará dentro de los diez días siguientes a su notificación y que acreditará mediante la presentación del recibo de pago.

**NOTIFIQUESE PUBLIQUESE Y CUMPLASE**

**JOSE JOAQUIN ZAMBRANO CRUZ  
Director Territorial Sur**

Expediente DRS 3.3.4.1 – 015/2006 Concesión de aguas superficiales

ERROR: stackunderflow  
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: