UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
Departamento de Riego y Drenaje

ANALISIS DE METODOLOGIAS DE DISEÑO EN RIEGO POR GOTEO Y MICROJET: ESTUDIO DE CASO

PROYECTO DE TITULACION PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL AGRICOLA.

RAFAEL FERNANDO ORMEÑO GONZALEZ

CHILLAN – CHILE
1999

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO PAGINA

I. RESUMEN. 9

II. INTRODUCCION. 10

2.1 Objetivo General. 12

2.2 Objetivos Específicos. 12

III. MATERIALES Y METODOS 13

3.1 Antecedentes básicos de diseño. 13

3.2 Procedimientos de diseño común 16

3.2.1 Sector Cítricos 16

3.2.2 Sector Paltos 28

3.3 Procedimiento de diseño con modelo de optimización 31

IV. DESARROLLO 32

4.1 Antecedentes básicos de diseño. 32

4.2 Diseño con modelo común para sector Cítricos. 34

4.2.1 Sector cítricos. 34

4.2.2 Sector paltos. 47

4.3 Diseño con modelo de optimización. 60

4.3.1 Sector cítricos: 60

4.3.2 Sector Paltos: 63

V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE AMBOS METODOS DE DISEÑO. 67

VII.SUMMARY. 73

VIII. BIBLIOGRAFIA 74

IX. APENDICE. 75

INDICE DE TABLAS

TABLA Nº		PAGINA
	En el texto:	
1	Antecedentes generales y básicos para el diseño del riego por goteo en Cítricos y sus resultados.....	34
2	Selección de goteros para riego de Cítricos.....	35
3	Antecedentes y resultados de las pérdidas de carga del Lateral.....	37
4	Antecedentes y resultados de las pérdidas de carga en el Secundario.....	40
5	Resultados generales de los Cítricos.....	42
6	Antecedentes generales, básicos y resultados de diseño en Paltos.....	47
7	Selección de microjet para riego en Platos.....	48
8	Antecedentes generales y básicos de diseño y resultados de laterales.....	50
9	Antecedentes generales de diseño y resultados para pérdida de carga en el secundario para Paltos.....	52
10	Resultados generales de los Paltos.....	54
11	Antecedentes utilizados por el modelo de optimización para el sector de los Cítricos.....	60
12	Resultados del modelo de optimización para el sector de los Cítricos.....	62

13 Antecedentes requeridos para el uso del modelo de optimización en le sector de los platos..... 63

14 Resultados del modelo de optimización para el sector de los Paltos..... 65

15 Resultados de tuberías y emisores de los diseños sector Cítricos..... 69

16 Resultados de tuberías y emisores de los diseños sector Paltos..... 69

En el apéndice:

Simbología utilizada..... 76

Modelo de optimización utilizado..... 78

1a Cálculo manual para la unidad 1 de cítricos..... 83

2a Cálculo manual para la unidad 2 de cítricos..... 84

3a Cálculo manual para la unidad 3 de cítricos..... 85

4a Cálculo manual para la unidad 4 de cítricos..... 86

5a Cálculo manual para la unidad 5 de cítricos..... 87

6a Cálculo manual para la unidad 1 de paltos..... 88

7a Cálculo manual para la unidad 2 de paltos..... 89

8a Cálculo manual para la unidad 3 de paltos..... 90

9a Cálculo manual para la unidad 4 de paltos..... 91

10a Diámetro óptimo para el principal de goteo..... 92

11a Diámetro óptimo para el principal de paltos..... 93

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	En el texto:	
1	Esquema del sector a equipar con microrriego.	14
2	Probabilidad de no-excedencia de la evaporación de bandeja para el área del valle de Cachapoal, Peumo.	32
3	Subunidad tipo del sector de los Cítricos.	39
4	Subunidad tipo del sector de los Paltos.	51
5	Sector del campo equipado con riego y sus distribuciones.	59
6	Distribución tentativa de las tuberías del modelo de Optimización.....	66

I. RESUMEN.

El presente proyecto se realizó en el fundo "Santa Magdalena de Larmahue", ubicado a 5 km de Larmahue, comuna de Pichidegua, provincia de Colchagua, VI región.

El proyecto consistió en el diseño de sistemas de riego presurizado en un huerto de cítricos y paltos. Se utilizó la metodología común de diseño y un modelo de optimización. El área en estudio es de 20 há con una topografía y forma irregular en un suelo franco arenoso.

El estudio establece que en cítricos se debe regar por goteo con cuatro emisores por planta y en paltos por microjet con un emisor por planta, considerando un requerimiento hídrico de 5,86 mm/día para cítricos y 6,29 mm/día para paltos en un marco de plantación de 5 x 4 y 6 x 4m para cítricos y paltos, respectivamente.

El diseño entregado por el modelo de optimización debe ajustarse para la condición de la pendiente del terreno.

II. INTRODUCCION.

El buen aprovechamiento del agua en el sector agrícola, de un tiempo a la fecha, se ha vuelto una necesidad en Chile, situación que en los países desarrollados aparece ya como una obligación. Esta necesidad se ha visto acrecentada debido a los últimos fenómenos climáticos que han puesto en riesgo la producción agrícola de la temporada, fundamentalmente en el caso de la fruticultura, o han visto disminuidos en una cantidad importante sus rendimientos. La necesidad de mejorar el aprovechamiento del agua ha llevado a los agricultores a tecnificar el riego, optando muchos de ellos por la incorporación de riego por goteo o microjet.

La mayor ventaja que presentan estos métodos de riego es su alta eficiencia y un elevado nivel de automatización, lo que se traduce en un menor volumen de agua aplicado. Además, es posible la utilización de aguas con altos contenidos de sales, sin producir un gran deterioro en la producción. Asimismo, estos métodos presentan otras características que hacen atractiva su incorporación como su facilidad de manejo, la capacidad para la aplicación de fertilizantes y otros productos químicos junto con el agua.

Para el diseño de estos métodos de riego existen numerosas formas de abordarlos, tanto para sus cálculos como para la distribución de las tuberías en el terreno, y todas ellas satisfacen las necesidades tanto del cultivo como del tipo de suelo.

Un buen diseño es la base fundamental para el óptimo funcionamiento de un equipo de riego. Si el diseño no está bien calculado lo más probable es que se vea afectada su capacidad de operación, lo que se traduciría en un inadecuado abastecimiento de agua para las plantas o un costo mayor.

Es importante analizar cuidadosamente el diseño de los sistemas de riego ya que tiene una influencia directa en los costos del proyecto, debido a que es éste el que determina el monto de la inversión a realizar y el costo de operación del equipo.

2.1 Objetivo General.

Diseñar y analizar un sistema de riego presurizado en frutales a través del procedimiento común de diseño y el uso de un modelo de optimización, tomando como base la implementación en el predio "Santa Magdalena de Larmahue", ubicado en la comuna de Pichidegua (Larmahue), VI región.

2.2 Objetivos Específicos.

- Desarrollar un diseño de riego presurizado en paltos y cítricos.
- Establecer el diseño de sistemas de riego a través del uso de un modelo de optimización.
- Analizar en forma básica los resultados del diseño común y el obtenido a través del modelo de optimización.

III. MATERIALES Y METODOS.

El estudio de caso se efectuó en un área del predio "*Santa Magdalena de Larmahue*" a equipar con riego presurizado. Este es un sector compuesto principalmente por laderas de cerro y una pequeña explanada, en las cuales se plantaron paltos y cítricos antes de la realización de este estudio.

El diseño de los métodos de riego se efectuó a través de un método común y otro más específico como el modelo de optimización desarrollado por Holzapfel *et al* (1990). Para analizar el diseño manual y el diseño a través del modelo de optimización se realizaron los cálculos en una superficie de 10 há de Paltos en la zona alta del sector y 10 há de Cítricos en la zona baja adyacente al anterior (Figura 1), con una dotación de agua de 45 lt/seg y un suelo franco arenoso.

Por conveniencia de diseño y para su posterior análisis se tratarán ambos huertos de manera independiente con su respectivo equipo de riego.

3.1 Antecedentes básicos de diseño.

3.1.1 Características del predio.

El predio en el que se realizaron los diseños de riego presurizado en cítricos y paltos se ubica en la localidad de Larmahue, comuna de Pichidegua, Sexta Región, entre las

latitudes 35°00' y 34°30', y los paralelos 71°00' y 71°30'. Cuenta con una superficie total de 450 há.

El sector del predio a equipar con riego cuenta con energía eléctrica trifásica.

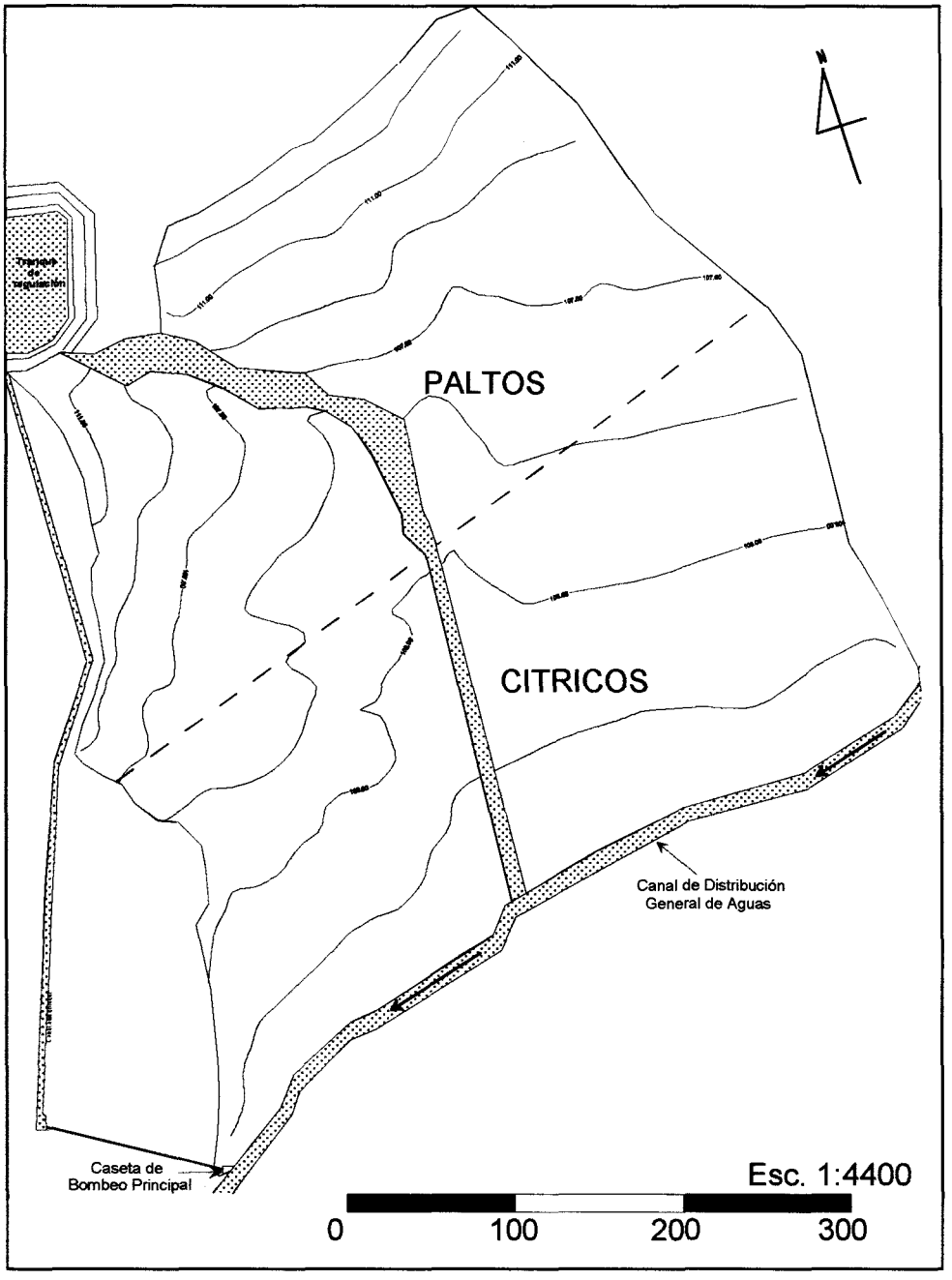

Figura 1. Esquema del sector a equipar con microrriego.

3.1.2 Plano Topográfico.

Se confeccionó un plano topográfico del sector en estudio donde se realizaron los diseños. Para el levantamiento topográfico del sector se utilizó teodolito y nivel, debido a lo irregular del terreno en estudio. En éste se indica toda estructura y relieve de importancia existente en el terreno, tales como drenes naturales, casetas y bosques.

3.1.3 Requerimientos de agua del Sector.

Este parámetro se determinó a partir de promedios mensuales de evaporación de bandeja del fundo "*SOFRUCO LA ROSA*", a 5 km del predio, en el período comprendido entre Septiembre y Marzo de los años 1987 a 1996 y, antecedentes del huerto como marco de plantación y tipo de frutal.

3.1.4 Velocidad de Infiltración del suelo.

Las mediciones de velocidad de infiltración del suelo se realizaron con el método del cilindro infiltrómetro. Estas fueron realizadas en distintos puntos del sector en estudio, tanto para el huerto de los Cítricos como para el de los Paltos.

3.2 Procedimientos de diseño común.

3.2.1 Sector Cítricos

En este sector se realizará el diseño con goteros, debido a requerimientos agronómicos del frutal.

Marco de Plantación.

El marco de plantación utilizado en los cítricos es de 5x4m.

Requerimientos de agua en Cítricos.

Los requerimientos de agua del frutal se calculan utilizando la eficiencia de distribución total (Holzapfel *et al.*, 1985), la evaporación de bandeja y el porcentaje de cobertura.

$$RAF = \frac{Eb * 0{,}8 * Fc}{EDT} \qquad \text{.... (1)}$$

$$para\ Fc = 0{,}0128*(\mathbf{P}) + 0{,}1125$$

donde RAF = requerimientos de agua del frutal, en mm; Eb = evaporación de bandeja, en mm/día; Fc = factor de cobertura; P = sombreamiento en porcentaje para valores entre 10 y 70 porciento; EDT = eficiencia de distribución total, como factor.

Horas de Riego.

El equipo de riego funcionará 20 hrs diarias en el período de máxima demanda, considerando que se desea utilizar la mayor parte del día para regar, dejando un tiempo para emergencias que pudiesen ocurrir.

Frecuencia de Riego.

La frecuencia de riego que se establece es diaria, basado en criterios comunes de goteo y condiciones del suelo.

3.21.1 Cálculo de Subunidades.

Para determinar el número mínimo y máximo de subunidades, se debe primero obtener el diámetro de mojadura mínimo de los emisores. Este cálculo se realiza basándonos en que no existe traslape entre las áreas mojadas por cada emisor. El diámetro de mojadura de los emisores se obtiene utilizando la siguiente ecuación propuesta por Karmeli, 1985:

$$WD_{mín} = \sqrt{\frac{(4 * Pmh * b * r)}{(\pi * Net * 100)}} \qquad ....(2)$$

en donde $WD_{mín}$ = diámetro mínimo de mojadura del emisor en la superficie del suelo, en m; Pmh = humedecimiento mínimo del suelo, en porcentaje; b = espaciamiento de plantas sobre hilera, en m; r = espaciamiento de plantas entre hilera, en m; Net = número de emisores por árbol; $\pi = 3{,}1416$.

Caudal Mínimo.

El caudal mínimo a aplicar por gotero [Q_{min} (lt/hr)], para producir un diámetro de mojadura mínimo en un tipo de suelo franco, en función del diámetro mínimo de mojadura del emisor en la superficie (WD_{min}), debe ser igual o superior a (Karmeli, 1985):

$$Q_{min} \geq \frac{WD_{min} - 0{,}7}{0{,}11} \qquad ....(3)$$

Velocidad Mínima de Aplicación.

Es la velocidad de aplicación [I_{min} (mm/hr)] que produce el caudal mínimo de agua, aplicado en un determinado marco de plantación, en función del caudal mínimo por gotero (Q_{min}) y número de emisores (Net). Se obtiene según la siguiente ecuación (Karmeli, 1985):

$$I_{min} = \frac{(Q_{min} * Net)}{b * r} \qquad ....(4)$$

Tiempo Máximo de Aplicación.

El tiempo máximo de aplicación ($T_{máx}$ en hrs) es aquel que puede estar expuesto un suelo bajo un cierto caudal, produciéndose infiltración. Está dado en función de los requerimientos de agua del frutal(RAF) y la velocidad mínima de aplicación (I_{min}) (Karmeli, 1985):

$$T_{máx} = \frac{RAF}{I_{min}} \qquad ....(5)$$

Números de Subunidades.

Este número representa la cantidad de sectores en los cuales es posible dividir la unidad de riego. El número máximo ($NS_{máx}$) y mínimo de subunidades (NS_{min}) se calcula con las siguientes ecuaciones (Karmeli, 1985):

$$NS_{min} = \frac{T_d}{T_{app}} \qquad \text{y} \qquad NS_{máx} = \frac{(T_d * I_b)}{RAF} \qquad \text{.... (6)}$$

en donde T_d = tiempo disponible para riego, en hr; T_{app} = tiempo de aplicación, en hr; I_b= infiltración básica del suelo, en mm/hr.

Tiempo de aplicación.

El tiempo de aplicación [T_{app} (hr)] es el tiempo durante el cual el emisor debe entregar agua para reponer las necesidades de la planta, en función del tiempo disponible para riego (T_d), y se determina de la siguiente forma (Karmeli, 1985):

$$T_{app} = \frac{T_d}{NPD} \qquad \text{....(7)}$$

en donde NPD = número de subunidades.

Velocidad de aplicación.

Es la velocidad con que se repone el déficit de agua en el suelo [I (mm/hr)], en función de los requerimientos de agua del frutal (RAF) y del tiempo de aplicación ($Tapp$), y se determina a partir de (Karmeli, 1985):

$$I = \frac{RAF}{T_{app}} \qquad \text{....(8)}$$

Caudal del emisor.

Es el caudal que debe suministrar el emisor para reponer el agua al suelo [Q_e (lt/hr)] y se determina acorde a (Karmeli, 1985):

$$Q_e = \frac{I * b * r}{Net} \qquad ....(9)$$

Diámetro de mojadura.

Corresponde al suelo humedecido a causa del volumen de agua suministrado por el caudal del emisor (Q_e) medido linealmente en la superficie WD(m), y se determina por medio de la ecuación propuesta por Karmeli,(1985):

$$WD = 0{,}7 + 0{,}11 * Q_e \qquad ....(10)$$

Porcentaje de suelo humedecido.

Es el porcentaje del suelo que se humedece (WP), se determina por:

$$WP = \frac{\pi * WD^2}{4 * b * r} * Net \qquad ....(11)$$

Número de subunidades por ciclo de riego (NPC).

Se considera el número de subunidades que son regadas por ciclo de riego y se calcula como:

$$NPC = NPD * frec \qquad ....(12)$$

en donde $frec$ = frecuencia de riego en días.

Tamaño de la subunidad.

$$T_u = \frac{Area}{NPD} \qquad ....(13)$$

en donde T_u = tamaño de la subunidad, en há; $Area$ = área del sector a regar, en há.

Caudal requerido.

Es el caudal necesario para regar una subunidad [Q_{req} (m^3/hr)], y se determina por:

$$Q_{req} = T_u * I * 10 \qquad ....(14)$$

Una vez determinado el número de subunidades y emisores adecuados para cada sector se procede al cálculo de la red de tuberías necesarias para la distribución del agua.

Red de tuberías.

Las tuberías que conforman la subunidad son: Lateral, secundario y sub-principal. El criterio de diseño utilizado es la pérdida de carga y con diámetros constantes; es decir, no habrá disminuciones de diámetro en las tuberías que se utilicen. El diámetro de la tubería del sub-principal se determina basándose en el procedimiento del diámetro óptimo (Zazueta, 1992).

Cálculo de Laterales.

Criterios de diseño.

Se utilizarán 4 criterios de diseños para determinar la red de tuberías en la subunidad. Estos criterios están planteados para suelos sin desnivel.

1. La diferencia de presión en toda la subunidad no podrá ser mayor al 20% de la presión de trabajo del emisor. Será denominado como el criterio de diferencia de presión.
2. Se distribuirán las pérdidas de carga de la subunidad en un 55% en los laterales y un 45% en el secundario. Será denominado como el criterio de distribución de las pérdidas de carga.
3. La mayor cantidad de pérdidas de carga, equivalente a un 77% se produce en el 40% inicial del largo total de lateral, mientras que el 23% restante de las pérdidas de carga se producen en el 60% distal del lateral. Será nombrado como el criterio de pérdida de carga.
4. El coeficiente de uniformidad deberá ser como mínimo de un 95%. Se denominará como criterio de la uniformidad.

Para el cálculo del largo y el diámetro de los laterales de riego se requieren las dimensiones de las subunidades (largo y ancho). Estos cálculos se realizaron tomando como base las pérdidas de carga. El largo del lateral, mientras sea posible, se fija en la

mitad del ancho que tenga la subunidad, donde se ubica el secundario. De esta forma se equiparan las pérdidas de carga de los laterales, para que la distribución de caudales sea más uniforme en la totalidad del largo del lateral.

Debido a que cada subunidad tiene sus características especiales, se realizará el cálculo para cada una de ellas por separado y siguiendo la pauta anterior.

Para el cálculo de la pérdida de carga en el lateral se utilizan los criterios de diferencia de presión y de distribución de las pérdidas de carga. Por lo tanto, la diferencia de presión máxima admisible será de:

$$\Delta P \text{ máx} = P_e * 0{,}2 \qquad ....(15)$$

en donde P_e = presión del emisor, en m.c.a.

La pérdida de carga se calcula para un brazo de lateral, debido a que el otro brazo es igual, por encontrase el secundario en la mitad del ancho de la subunidad. La pendiente en el sentido de los laterales se asume despreciable. Así:

$$\Delta hl = J * F * L \qquad ....(16)$$

en donde Δhl = pérdida de carga total L = largo del lateral (un brazo), en m, J = pérdida de carga, en m/m y F = factor de salidas múltiples.

La de pérdida de carga J (m/m), para el polietileno, utilizando la ecuación de Hazen - Williams, es:

$$J = 1{,}13x10^{9} * \left(\frac{Q_l}{C}\right)^{1{,}852} * D^{-4{,}87} \qquad ....(17)$$

en donde C = constante para el polietileno; D = diámetro interno del lateral, en mm; Q_l= Caudal a la entrada del lateral, en m^3/hr, el que es calculado de la siguiente forma:

$$Q_l = \frac{Q_e * N_g}{1000} \qquad ....(18)$$

en donde Q_e = caudal del emisor, en lt/hr; N_g = número de emisores por lateral.

El Factor de salidas múltiples (F) para Hazen-Williams, se expresa como:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{ne} i^{1{,}85}}{n_e^{\ 2{,}85}} \qquad ....(19)$$

en donde i = emisor o grupo de emisores; n_e = número de emisores o grupo de emisores. Una vez calculada la pérdida de carga del lateral, se obtienen las presiones de entrada y salida de este. Al utilizar el criterio de la pérdida de carga, las presiones quedan expresadas de la siguiente forma:

$$P_{in} = P_e + 0{,}77 * \Delta hl \qquad \text{y} \qquad P_{end} = P_e - 0{,}23 * \Delta hl \qquad ....(20)$$

en donde P_{in} = presión de entrada, en m.c.a; P_{end} = presión a la salida, en m.c.a; Δhl = pérdida de carga en el lateral, en m.c.a.

Al aplicar el criterio de uniformidad.

$$\Delta Q = \frac{P_{in}^{\ x} - P_{end}^{\ x}}{P_e^{\ x}} * 100 \qquad ....(21)$$

en donde ΔQ = diferencia de caudal en le lateral; P_{in} = Presión al ingreso al lateral. (de Ec.20); P_{end} = Presión al final del lateral. (de Ec.20); x = exponente de ecuación de descarga del emisor, que es $Qe = K * Pe^x$.

El coeficiente de uniformidad (Cu) en el lateral, se determina utilizando la siguiente expresión (Karmeli, 1985):

$$Cu = 100 - \Delta Q \qquad ....(22)$$

Con lo anteriormente expuesto se asegura que el lateral cumple con todos los requerimientos mínimos, en cuanto a presión y caudal, para que el sistema funcione en un rango adecuado de trabajo.

Cálculos del secundario.

Para el cálculo del secundario es necesario conocer la posición de las subunidades en el terreno, debido a que se requiere la cota donde se ubica el secundario como también la longitud y el diámetro de éste, para así poder determinar en forma exacta las presiones de entrada y salida.

Se utilizó el siguiente procedimiento para compensar las pérdidas de carga en el secundario.

Las pérdidas de carga del secundario se calculan considerando la ecuación de Hazen-Williams (Ec.17). A través de la Ec.19, obtendremos el factor de salidas múltiples (F), considerando n_e como el número de par de laterales, con la Ec.17 obtendremos el porcentaje de pérdida de carga (J), considerando la constante C del P.V.C, el caudal (m^3/hr) y el diámetro interno (mm) del secundario:

El caudal del secundario (Q_s) es:

$$Q_s = Q_l * 2 * N_l \qquad ....(23)$$

en donde Q_l = caudal del lateral; N_l = número de laterales; y 2 es el factor de simetría de los laterales.

Conociendo la pérdida de carga del secundario es posible calcular sus presiones a la entrada (P_{in}) y salida(P_{end}) :

$$P_{in} = P_e + \Delta hs \qquad \text{y} \qquad P_{end} = P_{in} - \Delta Z - \Delta hs \qquad ....(24)$$

en donde P_e = presión de trabajo del emisor, en m.c.a.; Δhs = pérdida de carga en el secundario, en m.c.a.; ΔZ = diferencia de cota, en m.

El coeficiente de uniformidad se determina a través de la Ec.22, considerando las diferencia de caudal.

Los antecedentes expuestos permiten asegurar que el secundario cumple con los requerimientos mínimos, en cuanto a presión y caudal, para que el sistema funcione adecuadamente dentro de su rango de trabajo.

Finalmente, se selecciona el diámetro óptimo económico (Zazueta, 1992) para el sub-principal entre los diámetros comerciales existentes.

Así, las presiones a la entrada (P_{in}) y al final (P_{end}) del sub-principal son:

$$P_{in} = P_{insec} + \Delta ha - \Delta Z \qquad \text{y} \qquad P_{end} = P_{insec} \qquad ....(25)$$

en donde P_{insec} = presión de ingreso al secundario que tiene el lateral más desfavorable de todas las subunidades, en m.c.a; Δha = pérdida de carga del sub-principal, en m.c.a ; ΔZ = diferencia de cota del sub-principal, en m..

Cabezal de control.

En el cabezal de control se encuentra el sistema de filtrado, bomba, fertilizador y programador del riego. El diseño del cabezal está basado en el caudal, las pérdidas de carga y la característica de las aguas del sector.

Sistema de filtrado:

El sistema de filtrado está conformado por decantador, hidrociclón y filtro debido a la presencia de sedimentos en el agua.

3.2.2 Sector Paltos

Para este sector se utilizarán como emisores microjet, debido a que el volumen de agua que requieren estos frutales es mayor en comparación con los cítricos. Además, este tipo de emisor presenta un mejor comportamiento en paltos dado el sistema radicular superficial y expandido del frutal.

Marco de Plantación.

El marco de plantación utilizado en los paltos es de 6x4m.

Requerimientos de agua del Palto.

Los requerimientos de agua del frutal se calculan usando la Ec.1.

Horas de Riego.

El equipo de riego funciona 20 hrs diarias, considerando que se desea utilizar la mayor parte del día, dejando un tiempo prudente para imprevistos o emergencias que puedan ocurrir.

Frecuencia de Riego.

La frecuencia de riego que se establece es diaria

3.2.2.1 Número de Subunidades.

Para determinar el número de subunidades, es necesario calcular el número máximo, debido a que el mínimo como criterio de diseño será 1. Para realizar el cálculo del máximo número de subunidades se debe considerar el requerimiento del frutal, el tiempo total disponible para riego y la infiltración básico del suelo. Este cálculo se realiza utilizando la Ec.6.

Para el cálculo del número de subunidades se determinaron de la misma forma que se realizó para el diseño del sistema para los Cítricos, con la salvedad de la porción humedecida, y el diámetro de mojado que es una característica propia de cada emisor.

Porción de suelo humedecida en microjet.

El porcentaje de suelo que humedece el emisor (*WP*), se determina de la siguiente forma:

$$WP = Net * \left(\frac{\pi * WD^2}{4 * b * r} \right) * \alpha \qquad ....(26)$$

en donde *Net* = número de emisores por árbol; *WD* = diámetro de mojadura, en m; *b* = espaciamiento entre hilera, en m; *r* = espaciamiento sobre hilera, en m; α = Angulo de aplicación del emisor (°).

Una vez determinado el número de subunidades y emisores adecuados para cada sector se procede al cálculo de la red de tuberías para la distribución del agua.

Red de tuberías.

Con relación a los laterales y secundarios, el criterio de diseño que se utilizó para laterales y secundarios será el mismo que el usado en el diseño del sistema de riego para cítricos. La tubería del sub-principal será determinada basándose en el cálculo del diámetro óptimo (Zazueta, 1992).

Cabezal de control.

El cabezal de control se determina de la misma forma que para el caso de los cítricos.

3.3 Procedimiento de diseño con modelo de optimización

El modelo de optimización utilizado es para el diseño y manejo de sistemas de riego presurizado(Holzapfel *et al*, 1990), está basado en programación no-lineal, la que se resuelve utilizando el programa GAMS-MINOS por el método de quasi-Newton y el método de Lagrange. El modelo consta de una función objetivo que considera producción, costos de operación e implementación y las restricciones de caudal disponible, tiempo disponible, pérdidas de carga, área y número de subunidades.

Para un adecuado análisis de los resultados al modelo se le ingresarán los antecedentes básicos de diseño considerados en el procedimiento de diseño común, para cada método de riego. La producción potencial de los frutales fue determinada a través de registros y antecedentes existentes en la zona (José Ortega, Ingeniero Agrónomo. Comunicación Personal). El modelo de optimización no realiza las correcciones por diferencia de altura producidas por la topografía del terreno, por lo que el ajuste debe realizarse manualmente. El modelo utilizado se muestra en el anexo.

IV. DESARROLLO.

4.1 Antecedentes básicos de diseño.

Evaporación de Bandeja.

Los datos de evaporación de bandeja se ordenaron en forma ascendente, con la finalidad de asignarles a cada uno la probabilidad de *Weilbull*, para así poder definir la evapotranspiración de diseño. La probabilidad se determinó con la siguiente ecuación:

$$P(x) = \frac{x}{(n+1)} \qquad ....(27)$$

en donde n = número de datos; x = número de orden.

La Figura 2 muestra los datos obtenidos, en los que se observa que la mínima evaporación de bandeja es 2,0 y la máxima es 7,0 [mm/día]. La probabilidad de diseño establecida como la de no-excedencia al **85%**, tiene un valor para la evaporación de bandeja de **6,39** [mm/día].

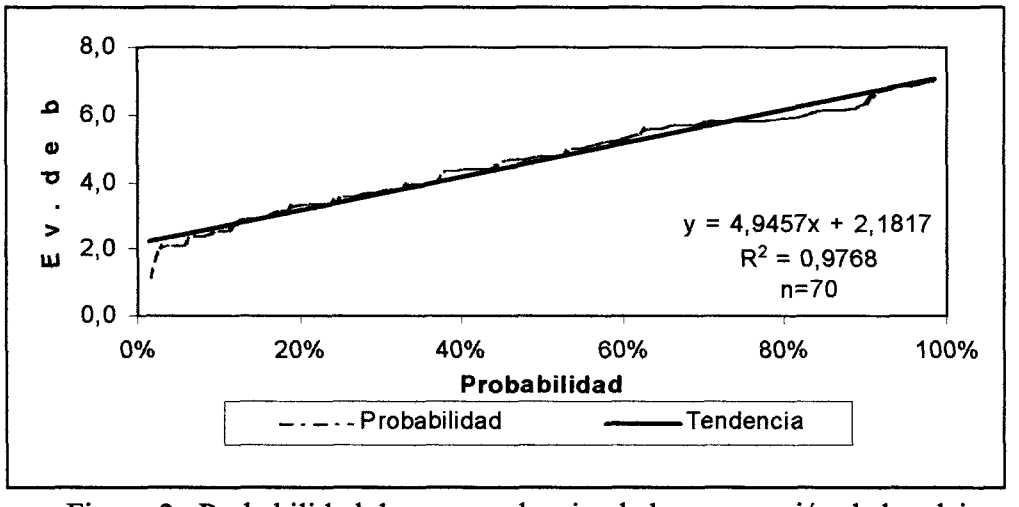

Figura 2. Probabilidad de no-excedencia de la evaporación de bandeja para el área del valle de Cachapoal, Peumo.

Velocidad de Infiltración.

Los resultados de velocidad de infiltración muestran diferencias apreciables entre ambos sectores, por lo que se procedió a tomar una medición representativa de cada uno de ellos, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

Sector Cítricos: $Vi = 0{,}591 * t^{-0{,}9845}$ .... (28.a)

Sector Paltos: $Vi = 0{,}8481 * t^{-0{,}8823}$ .... (28.b)

En donde Vi = velocidad de infiltración, en cm/min; t = tiempo, en min.

Con estas ecuaciones fue posible determinar la infiltración básica del suelo para cada sector, tomando como base que esta ocurre a los 120 min. Los valores par cada sector son:

Sector Cítricos de **3,2 [mm/hr]**.

Sector Paltos de **7,5 [mm/hr]**.

4.2 Diseño con modelo común para sector Cítricos.

4.2.1 Sector cítricos.

En la Tabla 1 se entregan los antecedentes requeridos para el diseño de riego por goteo en cítricos. Los antecedentes consideran área de humedecimiento, cobertura del árbol, marco de plantación, requerimientos hídricos, calidad del riego, rango de subunidades, tipo de tubería y emisor. El diámetro de mojadura se obtuvo a partir del caudal del emisor, infiltración mínima, tiempo de aplicación y número de subunidades.

TABLA 1: Antecedentes generales y resultados del diseño de riego por goteo en Cítricos.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
C	Constante para P.V.C.	**150**	-
C	Constante para polietileno	**140**	-
Eb	Evaporación de bandeja	**6,39**	mm/día
P	Porcentaje de cobertura	**70**	%
EDT	Eficiencia de distribución total	**0,865**	-
Pmh	Porcentaje mínimo de humedecimiento	**33**	%
B	Espaciamiento entre plantas sobre hilera (cítricos)	**5**	m
R	Espaciamiento entre hilera (cítricos)	**4**	m
Net	Número de emisores por árbol (cítricos)	**4**	-
RAF	Requerimientos de agua del frutal	**5,96**	mm/día
WD	Diámetro de mojadura mínimo	**1,45**	m
Q_{min}	Caudal mínimo del emisor	**6,81**	lt/hr
I_{min}	Infiltración min.	**1,36**	mm/hr
$T_{máx}$	Tiempo de aplicación máximo	**4,38**	hr
NS_{min}	Número de subunidades mínimo	**5**	-
NS_{max}	Número de subunidades máximo	**11**	-

Con los antecedentes de la Tabla 1 es posible seleccionar el emisor adecuado, y el número de subunidades para este sector, considerando cobertura del árbol, calidad del riego, requerimientos hídricos, infiltración básica, marco de plantación, número de emisores por árbol y área a regar. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2: Selección de goteros para riego de cítricos.

Datos			RESULTADO	Unidad	Nº de subunidades 5	6
Evaporación de bandeja	6,39	**mm/dia**	**Tapp** (Tiempo de Aplic.)	hr	4,00	3,33
P(Sombreamiento) <=70%	70	**%**	**I** (Vel. de Aplicación)	mm/hr	1,490	1,788
Eficien.Dist.Total EDT	86,5	**%**	**IR-I**		**1,761**	**1,463**
AGD(Requerimiento)	5,96	**mm**	**qe** (Caudal Emisor)	lts/hrs	7,45	8,94
Td (Horas Riego)	20	**hr**	**WD** (Diametro de Moj.)	m	1,52	1,68
Velocidad de Infiltación			**WP** (sin translape)		36,27%	44,51%
Vi = a*t^b		**cm/min**	**WP** (con translate)	%	36,03%	44,22%
a =	0,591		**Número de cambios**	Unds/ciclos	5	6
b =	-0,9845		**TU** (Tamaño de la unidad)	há	2,00	1,67
IR (Infitración Basica)	3,251	**mm/hr**	**AP** (Area por Postura)	há	2,00	1,67
Tnact (frecuencia riego)	1	**dias**	**Qreq** (Caudal Req.)	m3/hr	29,80	29,80
Nº subunidades a regar x vez	1		**gotero 1**	mca	1789,46	6083,31
PMH (% min humedo)	33	**%**	**gotero 2**	mca	7368,62	19784,28
Tipo de Suelo	Frco Arenoso		**gotero 3**	mca	32,36	200,38
b (sobre hilera)	4	**m**	**gotero 4**	mca	343,46	1083,46
r (entre hileras)	5	**m**	**gotero 5**	mca	493,55	1359,02
Net (Emisores)	4		**gotero 6 (8 lt/hr)**	mca	15,43	52,47
Area	10	**ha**	**gotero 7 (8 lt/hr)**	mca	8,47	37,93

Los resultados que se entregan en la Tabla 2, nos permite determinar que la mejor combinación para las condiciones dadas es de 5 subunidades; con un emisor **Hardi** de **8 lt/hr** (Gotero 6), considerando que con el mismo número de subunidades, ningún otro emisor entrega el caudal necesario con una presión razonable (12 - 20 m.c.a). El siguiente emisor en cuanto a presiones, requiere de 8,47 m.c.a, valor muy cercano al límite inferior del rango del autocompensado. La selección de 5 subunidades permite cumplir con las horas de riego disponibles, el volumen de agua a aplicar y el tipo de

gotero. Otra condición no es posible, ya que los caudales por emisor se incrementan a niveles inexistentes en el mercado (caudales mayores a 8 lt/hr) o difíciles de encontrar.

Esta alternativa es adecuada, si se considera que con dicho caudal por emisor el porcentaje de humedecimiento es de un 36%, superior al mínimo exigido por el criterio de diseño utilizado (33%).

La velocidad de aplicación del gotero es inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo, lo que evita la escorrentía y acumulación de agua en la superficie.

La ecuación de descarga del emisor seleccionado está representada por:

$$Q_e = 4{,}9554 * P_e^{0{,}149} \qquad ....(29)$$

en donde Q_e = caudal del emisor a la presión P_e, en lt/hr; P_e = presión del emisor, en m.c.a.

Red de tuberías.

Calculo del lateral.

El cálculo de la pérdida de carga en el lateral considera el criterio de la diferencia de presión máxima admisible. Para este caso, por subunidad, es de **3,09 m.c.a**.(Ec.15), al considerar la presión de trabajo del emisor de **15,43 m.c.a**.

Al considerar el criterio de la distribución de las pérdidas de carga, se obtiene que la pérdida de carga máxima permisible en el lateral es de **1,70 m.c.a**. El cálculo de la pérdida de carga real del lateral (Δhl) se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3. Antecedentes y resultados de las pérdidas de carga del lateral.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Q_e	Caudal del emisor	7,45	lt/hr
N_e	Número de emisores por lateral	40	-
N_g	Número de grupo de emisores	10	-
C	Constante del polietileno	140	-
D	Diámetro interno del polietileno	13,60	mm
L	Largo del lateral (un brazo)	41,50	m
Q_l	Caudal del lateral	0,300	m^3/hr
J	Pérdida de carga	0,038	m/m
F	Factor de salidas múltiples	0,402	-
Δhl	Pérdida de carga del lateral	0,641	m.c.a

La pérdida de carga del lateral determinada (0,641 m.c.a) es adecuada debido a que es menor a la máxima admisible para el lateral (1,70 m.c.a). Un diámetro menor no cumple con los criterios de diseño impuestos.

Con la pérdida de carga se pueden obtener las presiones de entrada y salida en el lateral, utilizando el criterio de la distribución de las pérdidas de carga. Así dichas presiones quedan de la siguiente forma (Ec.20):

P_{in} = **15,93 m.c.a**. y P_{end} = **15,29 m.c.a**.

Al aplicar el criterio de uniformidad, se puede obtener el coeficiente de uniformidad con las Ec.20 y 21. Para la presión de trabajo del emisor (P_e) de **15,43 m.c.a,** la diferencia de caudal en el lateral es de un **0,61%**.

El coeficiente de uniformidad del lateral (Ec.22), usando la diferencia de caudal en el lateral (ΔQ) da como resultado un valor de **99,39 %**, valor muy superior al mínimo requerido.

Cálculos del secundario.

Para el análisis de cálculo del secundario se consideró como ejemplo base la subunidad 1 de Cítricos y entregar solo los resultados para el resto de ellas. Esta subunidad tiene un largo de 245 m y un ancho de 82m.. La subunidad tiene 6,5 m de diferencia de cota en promedio entre los extremos (Figura 3).

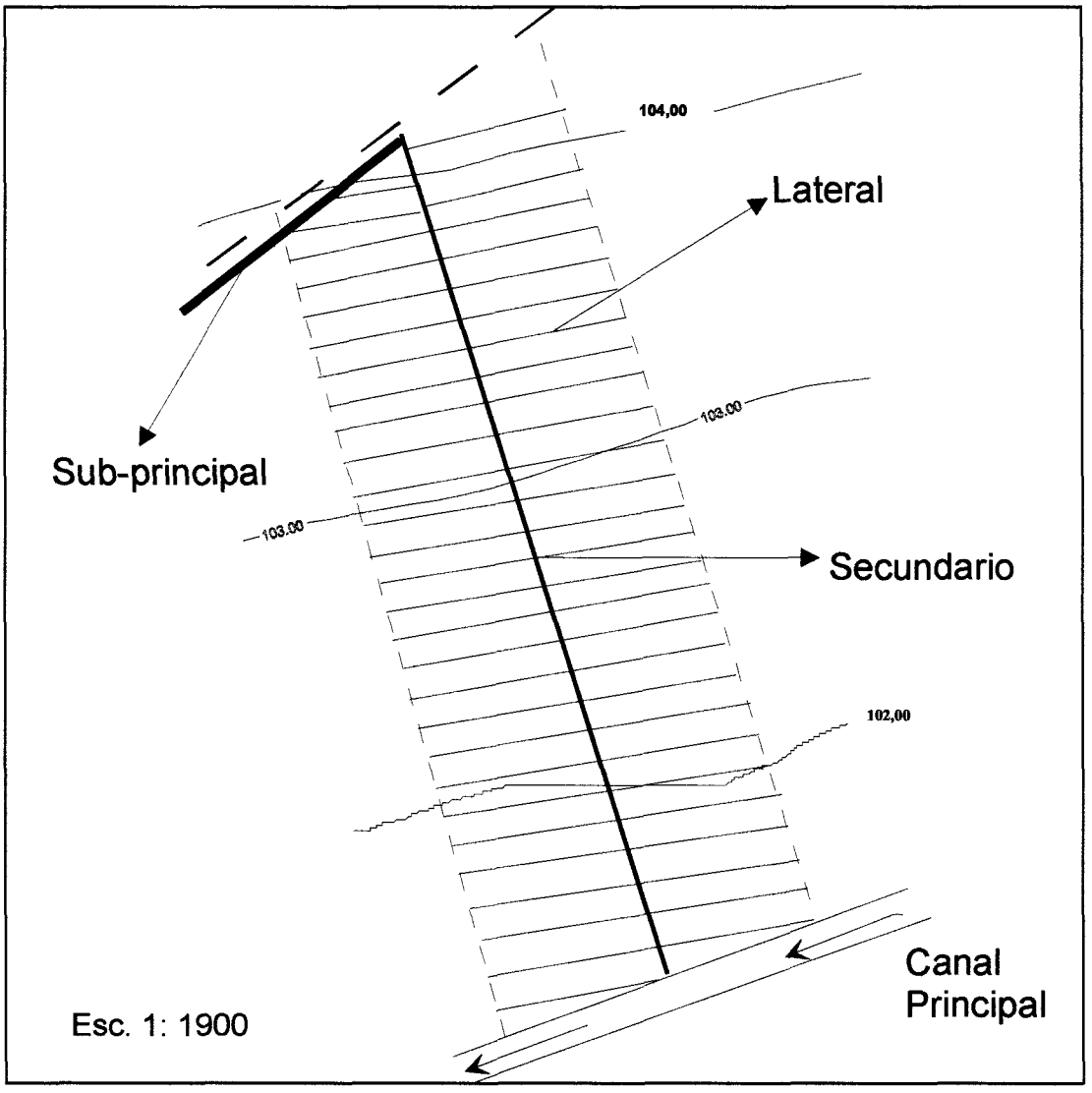

Figura 3. Subunidad tipo del sector de los Cítricos.

Al utilizar la Ec.16, para determinar las pérdidas de carga en el secundario, considerando que la diferencia de presión máxima admisible en dicha subunidad es de **3,09 m.c.a**, se obtiene que la máxima pérdida de carga es de **1,39 m.c.a.** A esto se debe agregar la diferencia de presión no utilizada en el lateral (1,056 m.c.a), con lo cual la pérdida

máxima admisible para el secundario alcanza los **2,45 m.c.a** bajo condiciones de suelo plano.

El análisis de la pérdida de carga real del lateral (Δhl) se calcula utilizando los antecedentes de caudal, número de laterales, diámetro, largo cuyos valores se entregan en la Tabla 4, además de los resultados.

TABLA 4. Antecedentes y resultados de las pérdidas de carga en el secundario

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Q_e	Caudal del lateral	0,30	m^3/hr
N_e	Número de laterales	49	-
C	Constante del P.V.C	150	-
D	Diámetro interno del P.V.C	71,4	mm
L	Largo del secundario	245	m
Q_l	Caudal del secundario	29,20	m^3/hr
J	Pérdida de carga	0,05	m/m
F	Factor de salidas múltiples	0,36	-
Δhl	Pérdida de carga del Secundario	4,53	m.c.a

El valor obtenido para la pérdida de carga del secundario es de **4,53 m.c.a**, que es mayor al máximo admisible de 2,45 m.c.a para terreno sin pendiente, se considera aceptable porque no sobrepasa la ganancia de carga producto al desnivel del terreno. Un diámetro

menor del secundario no es posible, debido a que se sobrepasaría la ganancia de carga producto del desnivel y un diámetro mayor produce una diferencia mayor de caudal.

Las presiones a la entrada (P_{in}) y salida del secundario (P_{end}), se calculan utilizando la Ec.24. La presión de trabajo del emisor (P_e) es de 15,43 m.c.a, la pérdida de carga en el secundario(Δhs) es de 4,53 m.c.a y la diferencia de cota (ΔZ) alcanza los 6,5 m, obteniéndose los siguientes resultados:

P_{in} = **20,46 m.c.a**. y P_{end} = **22,43 m.c.a**.

Con estos antecedentes se cumple el criterio de la diferencia de presión.

Al aplicar el criterio de uniformidad, con la Ec.22,con una presión de ingreso al secundario (P_{in} =20,46 m.c.a), presión al final del secundario (P_{end} 22,43 m.c.a), presión de trabajo del emisor (P_e =15,43 m.c.a) y exponente de la ecuación del emisor (x) de ec.8, se obtiene la variación de caudal en el secundario, lo cual es de un **1,44%** y el coeficiente de uniformidad (Ec.21) es de **98,56 %**.

El procedimiento para calcular las variables en el resto de las subunidades es el mismo que el utilizado anteriormente y sus resultados se entregan en la Tabla 5.

TABLA 5. Resultados generales de los cítricos.

	Subunid. 1	***Subunid. 2***	***Subunid. 3***	***Subunid. 4***	***Subunid. 5***
Largo (m)	245	227	224	225	230
Ancho (m)	83	89	90	93	91
$Q_{Lateral}$ *(m³/hr)*	0,30	0,33	0,33	0,33	0,33
$D_{int\ Lateral}$ *(mm)*	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
$\Delta H_{lateral}$ *(m.c.a)*	0,641	0,811	0,820	0,847	0,829
$P_{in\ Lateral}$ *(m.c.a)*	15,93	16,06	16,06	16,09	16,07
$P_{endLateral}$ *(m.c.a)*	15,29	15,25	15,25	15,24	15,24
$\Delta Q_{lateral}$ *(%)*	0,61	0,77	0,78	0,81	0,79
$Cu_{lateral}$ *(%)*	99,39	99,23	99,22	99,19	99,21
$\Delta Z_{secundario}$ *(m)*	6,5	5,5	4,5	5,5	5,5
$Q_{secundario}$ *(m³/hr)*	29,20	30,16	29,50	29,50	30,16
$D_{intsecundario}$ *(mm)*	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4
$\Delta H_{secundario}$ *(m.c.a)*	4,53	4,46	4,23	4,25	4,52
$P_{insecundario}$ *(m.c.a)*	20,46	20,52	20,30	20,34	20,60
$P_{endsecundario}$ *(m.c.a)*	22,43	21,56	20,56	21,59	21,57
$\Delta Q_{secundario}$ *(%)*	1,44	0,77	0,20	0,93	0,72
$Cu_{secundario}$ *(%)*	98,56	99,23	99,80	99,07	99,28

Los resultados que se muestran en la Tabla 5, para cada una de las subunidades son razonables y existe bastante homogeneidad entre uno y otro, lo que nos indica que las variaciones que se pueden presentar entre ellas son pequeñas. La única diferencia apreciable corresponde al caudal del lateral en la subunidad 1, debido principalmente a que es la subunidad con el menor número de emisores.

Sub-Principal.

Se selecciona el diámetro óptimo económico para el sub-principal, mediante el método desarrollado por Zazueta (1992) para los diámetros comerciales existentes en **PVC Clase 4**. Se optó por esta clase, por estar las presiones de trabajo de nuestro sistema dentro de las especificaciones técnicas de esta clase de PVC. El diámetro obtenido es de **125 mm** (Tabla 10a).

Considerando la pendiente del suelo en el sentido del secundario, no es necesario establecer un auxiliar, por lo que se ubicó en el extremo superior el sub-principal aprovechando el diferencial de presión causada por la diferencia de cota. Este procedimiento se utiliza en todas las subunidades.

Las presiones al inicio (*Pe*) y al final del sub-principal, utilizando la ec.24, se calculan considerando P_e como la presión de ingreso al secundario, así:

P_{in} **= 22,29 m.c.a.**

P_{end} **= 20,66 m.c.a.**

en donde P_{in} = presión al ingreso del secundario y P_{end} = presión al final del secundario.

Cabezal de control.

En el cabezal de control se encuentra el sistema de filtrado, la bomba y el programador del riego. Esta caseta debe ser de construcción sólida, para albergar todo el conjunto en su interior.

Sistema de filtrado.

Eliminación de Partículas Físicas.

a) Decantador.

Para el cálculo para el decantador se utiliza la ley de Stockes (Zazueta, 1992), y las dimensiones de la estructura son: área **3,4** m^2, ancho **3,0** m, largo **15** m y profundidad **1,3** m. El tiempo de detención en el decantador es de **4,40** min.

b) Hidrociclón:

Este equipo fue seleccionado de acuerdo a catálogo, considerando el caudal de entrada y las pérdidas de carga en un rango de trabajo entre 2 y 4 m.c.a., para así minimizar la potencia de la bomba.

Caudal: 32,0 m^3/hr.

Pérdidas de carga: 3,8 m.c.a.

Según lo anterior, se seleccionó el hidrociclón Mondragón F-750, que posee las siguientes dimensiones:

Diámetro de entrada: 3 pulg.(76,2 mm)

Diámetro de salida: 3 pulg. (76,2 mm)

Diámetro del ciclón: 8 pulg.(203,2 mm)

Volumen del estanque de almacenaje: 0,155 m^3

c) Filtros de Anillas:

Según catálogo de los emisores "HARDI" utilizados para nuestro sistema por goteo, los requerimientos de filtraje son de 100 Mesh y por razones de seguridad se utilizarán anillas de color rojo correspondientes a 130 Mesh. De acuerdo al caudal requerido se utilizará un filtro de anillas **AMIAD** de 3 pulg. (76,2 mm) de dos unidades. Cabe señalar que este filtro tiene una pérdida de carga de 1 m.c.a., aproximadamente.

Equipo de Bombeo:

Para el cálculo de la bomba a utilizar en nuestro estudio debemos conocer una serie de parámetros que influyen en su elección, entre ellos están las pérdidas por fricción, las pérdidas por singularidades, la diferencia de cotas, y la presión de trabajo de los emisores. Los parámetros de selección tienen los siguientes valores:

Caudal = 32 m^3/hr

Pérdidas de carga por fricción = 13,81 m.c.a.

Pérdidas de carga singulares = 2,07 m.c.a.

Δ_{COTA} de succión = 2 m.

Presión de trabajo del emisor = 15,49 m.c.a.

Así la altura dinámica total será $\mathbf{H_{DT}}$ **= 33,5 m.c.a**.

De acuerdo a este valor, en conjunto con el caudal requerido y a la eficiencia, se selecciona la bomba **VOGT N629**, con una eficiencia de la bomba de un 71%, un rodete de 150mm y funcionando a 2900 rpm. La potencia nominal del motor será de 4,5kW.

4.2.2 Sector paltos.

El diseño de riego en el sector de paltos utiliza microjet como emisores. Para obtener el rango en el número de subunidades en la Tabla 6 se entregan los antecedentes generales considerados que son: porcentaje de sombreamiento, calidad de riego, requerimientos hídricos, marco de plantación, tipo de distribución, número de emisores por planta.

TABLA 6. Antecedentes generales y resultados de diseño en Platos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
C	Constante para P.V.C para ec. Hazen y Williams	**150**	-
C	Constante para polietileno de ec. Hazen y Williams	**140**	-
Eb	Evaporación de bandeja	**6,39**	mm/día
P	Porcentaje de sombreamiento	**70**	%
EDT	Eficiencia de distribución total	**0,82**	-
Pmh	Porcentaje mín. de humedecimiento	**33**	%
B	Espaciamiento entre plantas sobre hilera (paltos)	**6**	m
R	Espaciamiento entre hilera (paltos)	**4**	m
Net	Número de emisores por árbol (paltos)	**1**	-
Ang	Angulo de mojadura	**360**	°
RAF	Requerimientos de agua del frutal	**6,29**	mm/día
NS_{min}	Número de subunidades mín.	**1**	-
NS_{max}	Número de subunidades max.	**24**	-

Los resultados de la Tabla 6 permiten seleccionar el emisor adecuado, y el número definitivo de subunidades para este sector (Tabla 7).

Tabla 7. Selección de microjet para riego en paltos.

Datos			RESULTADO	Unidad	Número de subunidades 1	2	3	4	5
Eb	6,39	mm/dia	**Tapp** (Tiempo de Aplic.)	hr	20,00	10,00	6,67	5,00	4,00
P(Sombreamiento)<=70%	70	%	**I** (Vel. de Aplicación)	mm/hr	0,314	0,629	0,943	1,257	1,572
Efic.Distrib. Total (EDT)	82	%	**IR-I**		**7,278**	**6,963**	**6,649**	**6,335**	**6,020**
AGD(Requerimiento)	6,29	mm	**Qe** (Caudal Emisor)	lts/hrs	7,54	15,09	22,63	30,18	37,72
Td (Horas Riego)	20	hr	**N° de cambios**	Unds/ciclos	1	2	3	4	5
Velocidad de Infiltación			**TU** (Tamaño de la unidad)	há	10,00	5,00	3,33	2,50	2,00
Vi = a*t^b		cm/min	**AP** (Area por Postura)	há	10,00	5,00	3,33	2,50	2,00
a =	0,8481		**Qact** (Caudal Req.)	m3/hr	31,44	31,44	31,44	31,44	31,44
b =	-0,882		**Microjet 1**	m.c.a	1,06	1,39	1,62	1,81	1,97
IR (Infitración Basica)	7,592	mm/hr	**WD**	m	0,15	0,20	0,23	0,25	0,27
Tnact (frecuencia riego)	1	día	WP 1(para 2 de 360°)	%	0,08	0,13	0,17	0,21	0,24
# unidades a regar x vez	1		**WP 2 (pa 1-360 o n-180)**	%	0,08	0,13	0,17	0,21	0,24
b (dist.sobre hilera)	4	m	**Microjet 2**	m.c.a	0,61	5,92	22,41	57,58	119,74
r (dist. entre hileras)	6	m	**WD**	m	0,65	1,58	2,64	3,81	5,06
Net (Emisores)	1		WP(para 2 de 360°)	%	1,40	8,15	22,84	47,44	83,65
Angulo °	360	°	**WP**	%	1,40	8,15	22,84	47,44	83,65
Area	10	há	**Microjet 3**	m.c.a	0,51	2,43	6,04	11,51	19,00
			WD	m	0,95	1,58	2,14	2,64	3,12
			WP(para 2 de 360°)	%	2,93	8,19	14,93	22,86	31,82
			WP	%	2,93	8,19	14,93	22,86	31,82
			Microjet 4	m.c.a	0,12	0,66	1,79	3,60	6,20
			WD	m	0,46	1,00	1,57	2,16	2,78
			WP(para 2 de 360°)	%	0,69	3,26	8,06	15,33	25,25
			WP	%	0,69	3,26	8,06	15,33	25,25
			Microjet 5	m.c.a	0,03	0,18	0,53	1,16	2,13
			WD	m	0,32	0,71	1,13	1,57	2,03
			WP(para 2 de 360°)	%	0,34	1,66	4,20	8,10	13,49
			WP	%	0,34	1,66	4,20	8,10	13,49
			Dan 7200 (19)	m.c.a	0,35	3,85	15,51	59,29	89,80
			WD	m	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
			WP(para 2 de 360°)	%	29,45	29,45	29,45	29,45	29,45
			WP	%	29,45	29,45	29,45	29,45	29,45
			Dan 7200 (28)	m.c.a	0,01	0,48	3,67	22,04	47,36
			WD	m	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
			WP(para 2 de 360°)	%	37,83	37,83	37,83	37,83	37,83
			WP	%	37,83	37,83	37,83	37,83	37,83

Los antecedentes permiten establecer que la mejor opción en cuanto a número de subunidades es de **4**, en combinación con los emisores **Dan 7200** de **28 lt/hr**, debido a que con 5 subunidades, no existe ningún otro emisor que cumpliera con el criterio de diseño de un WP ≥ 33%, con una presión de trabajo dentro del rango aceptable (entre 15 y 30 m.c.a) para no afectar la potencia de la bomba.

La ecuación de descarga del emisor está representada por la siguiente ecuación:

$$Q_e = 16{,}2716 * P_e^{0{,}1997} \qquad ....(33)$$

en donde Q_e = caudal del emisor a la presión P_e, en lt/hr; P_e = presión del emisor, en m.c.a.

Red de tuberías.

Cálculo del lateral.

Para el cálculo de la pérdida de carga en el lateral utilizamos el criterio de la diferencia de presión. Para una presión de trabajo del emisor de **22,04 m.c.a,** la variación de presión máxima admisible en la subunidad es **4,41 m.c.a** (Ec.15).

Así utilizando el criterio de la distribución de las pérdidas de carga, se estableció que para el lateral la pérdida de carga máxima es de **2,42 m.c.a**.

La pérdida de carga final del lateral (Δhl), se calcula considerando el número de emisores y tipo de tubería. Los antecedentes para el cálculo de pérdidas de carga y sus resultados se entregan en la Tabla 8

TABLA 8. Antecedentes generales de diseño y resultados para el cálculo del lateral.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Q_e	Caudal del emisor	30,18	lt/hr
N_g	Número de grupo de emisores	12	-
C	Constante del polietileno	140	-
D	Diámetro interno del polietileno	13,6	mm
L	Largo del lateral (un brazo)	49	m
Q_l	Caudal del lateral	0,36	m^3/hr
J	Pérdida de carga	0,055	m/m
F	Factor de salidas múltiples	0,394	-
Δhl	Pérdida de carga del lateral	1,063	m.c.a

Conocidas las pérdidas de carga del lateral se calculó la presión de entrada (P_{in}) y final del lateral(P_{end}), donde (Ec.20):

$$P_{in} = \mathbf{22{,}85\ m.c.a.} \quad \text{y} \quad P_{end} = \mathbf{21{,}79\ m.c.a.}$$

Utilizando las Ec.21 y 22, obtenemos un coeficiente de uniformidad de **99,05 %**.

Cálculos del secundario.

Para el análisis se consideró a modo de ejemplo la subunidad 1 del sector de Paltos que tiene un largo de 255 m y un ancho de 98 m, con un desnivel entre sus extremos de 8,5 mts.(Figura 4).

Estos valores teóricos son aproximados debido a que al ubicarlas en terreno estas dimensiones tienden a variar, con respecto al plano. Para las otras subunidades se entregan solo los resultados.

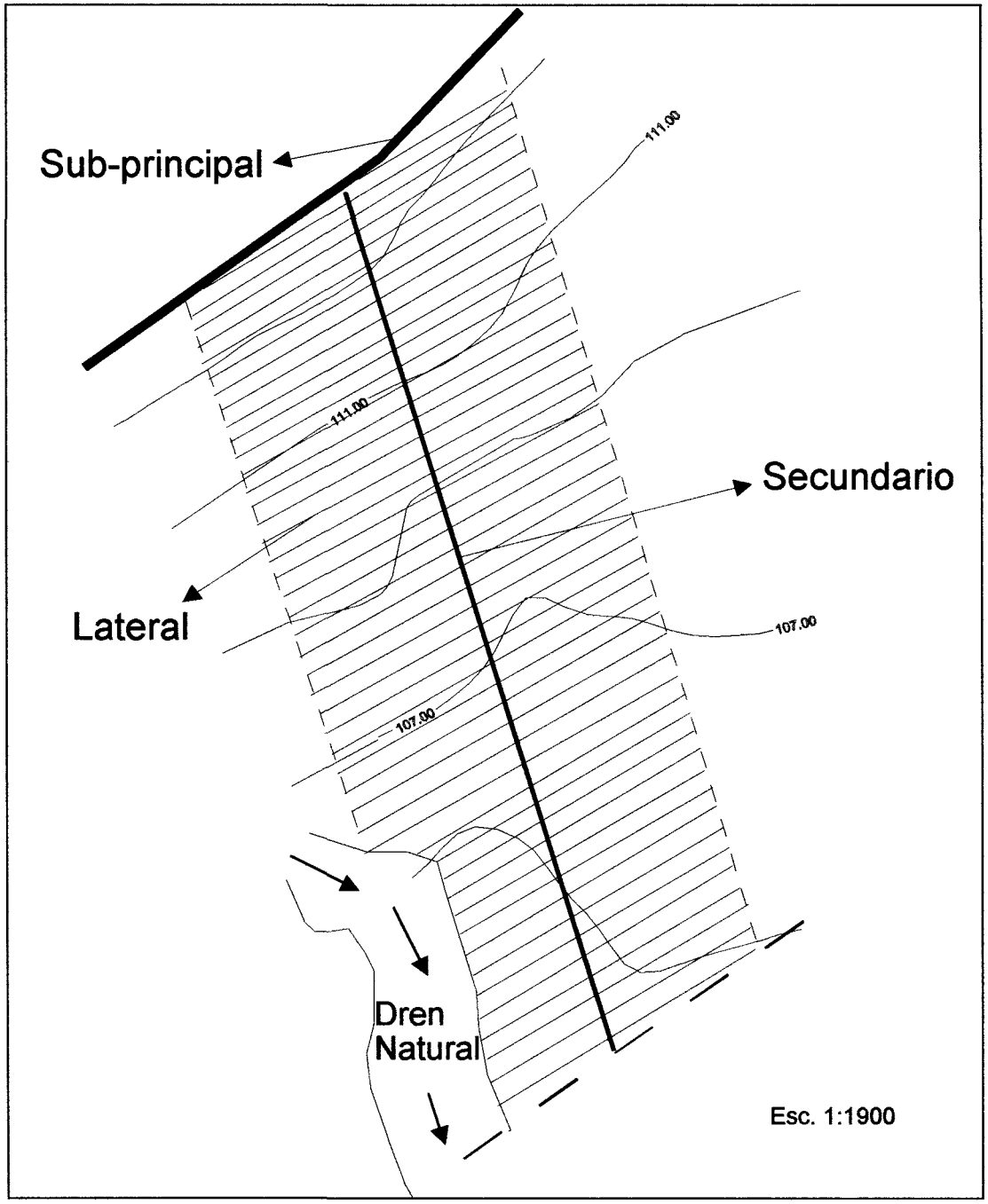

Figura 4. Subunidad tipo del sector de los Paltos.

Utilizando la Ec.16, se calculó la pérdida de carga en el secundario. La pérdida máxima admisible para el secundario, utilizando el criterio de la distribución de las pérdidas de carga en la subunidad, es de **2,42 m.c.a.** Sin embargo, es posible agregar la disponibilidad de las pérdidas de carga no utilizadas en el lateral, con lo cual la pérdida máxima admisible para el secundario es **3,34 m.c.a**.

El resultado y análisis de la pérdida de carga final para el secundario (Δhs), se entregan en la Tabla 9.

TABLA 9: Antecedentes generales de diseño y resultados para pérdida de carga en el Secundario para Paltos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Q_e	Caudal del lateral	0,36	m^3/hr
N_e	Número de laterales	42	-
C	Constante del P.V.C	150	-
D	Diámetro interno del P.V.C	71,4	mm
L	Largo del secundario	255	m
Q_l	Caudal del secundario	31,14	m^3/hr
J	Pérdida de carga	0,06	m/m
F	Factor de salidas múltiples	0,36	-
Δhs	Pérdida de carga del Secundario	5,33	m.c.a

La pérdida de carga para el secundario de **5,33 m.c.a,** aunque mayor que el máximo admisible para terreno sin desnivel (3,34 m.c.a), se acepta ya que la pérdida de carga es compensada por la ganancia de presión producto del desnivel del terreno. Un diámetro menor del secundario no es posible debido a que se sobrepasa la ganancia de carga

permitida, y un diámetro mayor no es posible debido a que aumenta la diferencia de caudal en el secundario.

Las presiones a la entrada (P_{in}) y al final (P_{end}) del secundario (Ec.24), se calculan considerando la presión de trabajo del emisor (P_e) de 22,04 m.c.a, pérdida de carga en el secundario (Δhs) de 5,33 m.c.a y diferencia de cota (ΔZ) de 8,5 m, así obtenemos que:

P_{in} = **28,19 m.c.a.** y P_{end} = **31,35 m.c.a.**

Con estos antecedentes se cumple el criterio de la diferencia de presión. La diferencia de caudal en el secundario (Eq.21) es de un **2,26%**. De esta manera, utilizando la Ec.22, se determinó que el coeficiente de uniformidad es de **97,74 %**, resultado que es aceptable.

El procedimiento de calculo para el resto de las subunidades es el mismo utilizado anteriormente. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

TABLA 10: Resultados generales de los Paltos.

	Subunidad 1	***Subunidad 2***	***Subunidad 3***	***Subunidad 4***
Largo (m)	255	255	255	230
Ancho (m)	98	99	99	109
$Q_{Lateral}$ (m^3/hr)	0,36	0,36	0,36	0,39
$D_{int\ Lateral}$ (mm)	13,6	13,6	13,6	13,6
$\Delta H_{lateral}$ $(m.c.a)$	1,063	1,074	1,074	1,359
$P_{in\ Lateral}$ $(m.c.a)$	22,85	22,86	22,86	23,08
$P_{end\ Lateral}$ $(m.c.a)$	21,79	21,79	21,79	21,72
$\Delta Q_{lateral}$ $(\%)$	0,95	0,96	0,96	1,22
$Cu_{lateral}$ $(\%)$	99,05	99,04	99,04	98,78
$\Delta Z_{secundario}$ (m)	8,5	10	9	5,5
$Q_{secundario}$ (m^3/hr)	31,14	31,14	31,14	30,60
$D_{int\ secundario}$ (mm)	71,4	71,4	71,4	71,4
$\Delta H_{secundario}$ $(m.c.a)$	5,33	5,33	5,33	4,67
$P_{in\ secundario}$ $(m.c.a)$	28,19	28,20	28,20	27,76
$P_{end\ secundario}$ $(m.c.a)$	31,35	32,86	31,86	32,08
$\Delta Q_{secundario}$ $(\%)$	2,26	3,26	2,60	3,07
$Cu_{secundario}$ $(\%)$	97,74	96,74	97,40	96,93

Los resultados que se muestran en la Tabla 10 para cada una de las subunidades son razonables y bastante homogeneos. Existe cierta variación en la subunidad 4, que presenta por su forma geométrica laterales de mayor longitud y perdidas de carga, lo que produce mayores variaciones de presión que en las otras subunidades.

Tubería Sub-principal.

Finalmente se seleccionó el diámetro óptimo económico para el sub-principal, mediante el método desarrollado por Zazueta (1992) para los diámetros comerciales existentes en el país y se obtuvo un valor de **125 mm** (Tabla 11a).

Considerando la pendiente en el sentido del secundario, no es necesario establecer un auxiliar, por lo que se ubicó en el extremo superior el sub-principal aprovechando el diferencial de presión causada por la diferencia de cota. Este procedimiento se utiliza en todas las subunidades.

Las presiones iniciales (P_{in}) y finales (P_{end}) (Ec.25) son:

P_{in} = **30,16 m.c.a**

P_{end} = **28,35 m.c.a**.

Cabezal de control.

En el cabezal de control se encuentra el sistema de filtrado, la bomba y el programador del riego. Esta caseta debe ser de construcción sólida, y suficientemente amplia para albergar en forma segura todo el conjunto en su interior.

Sistema de filtrado.

Eliminación de Partículas Físicas:

a) Decantador:

El cálculo para el decantador se basa en la ley de Stockes (Zazueta, 1992), y las dimensiones de la estructura son: área **3,7** m^2, ancho **3,0** m, largo **15** m y profundidad **1,3** m.

b) Hidrociclón:

Este equipo fue seleccionado de acuerdo a catálogo, considerando el caudal de entrada y las pérdidas de carga en un rango de trabajo entre 2 y 4 m.c.a. Para así disminuir la potencia de la bomba.

Caudal: 32,0 m^3/hr.

Pérdidas de carga: 3,8 m.c.a.

Según lo anterior, se seleccionó el hidrociclón Mondragón F-750, que posee las siguientes dimensiones:

Diámetro de entrada: 3 pulg.(76,2 mm)

Diámetro de salida: 3 pulg. (76,2 mm)

Diámetro del ciclón: 8 pulg.(203,2 mm)

Volumen del estanque de almacenaje: 0,155 m^3

c) Filtros de Anillas:

Según catálogo de emisores "Dan" utilizados para nuestro sistema por microjet, los requerimientos de filtraje son de 60 Mesh,. De acuerdo al caudal requerido se utilizará un filtro de anillas **AMIAD** de 3 pulg. de dos subunidades. Cabe señalar que este filtro tiene una pérdida de carga de 1 m.c.a. aproximadamente.

Equipo de Bombeo:

Para la selección de la bomba a utilizar en nuestro estudio debemos conocer una serie de parámetros que influyen en esta determinación, entre ellos están las pérdidas por fricción, las pérdidas por singularidades, la diferencia de cotas, y la presión de trabajo de los emisores. Estos parámetros tienen los siguientes valores:

Caudal = 32 m^3/hr

Pérdidas de carga por fricción = 15,56 m.c.a.

Pérdidas de carga singulares = 2,33 m.c.a.

Δ_{COTA} de succión = 2 m.

Presión de trabajo del emisor = 22,17 m.c.a.

Así la altura dinámica total será $\mathbf{H_{DT}}$ **= 42 m.c.a**.

De acuerdo a este valor, en conjunto con el caudal requerido y la eficiencia, es posible seleccionar la bomba **VOGT H625**, con una eficiencia de un 71%, un rodete de 180mm funcionando a 2900 rpm. La potencia del motor será de 6 kW.

Finalmente la distribución de las subunidades de riego del sector en estudió, diseñada por el método común, se muestra en la Figura 6.

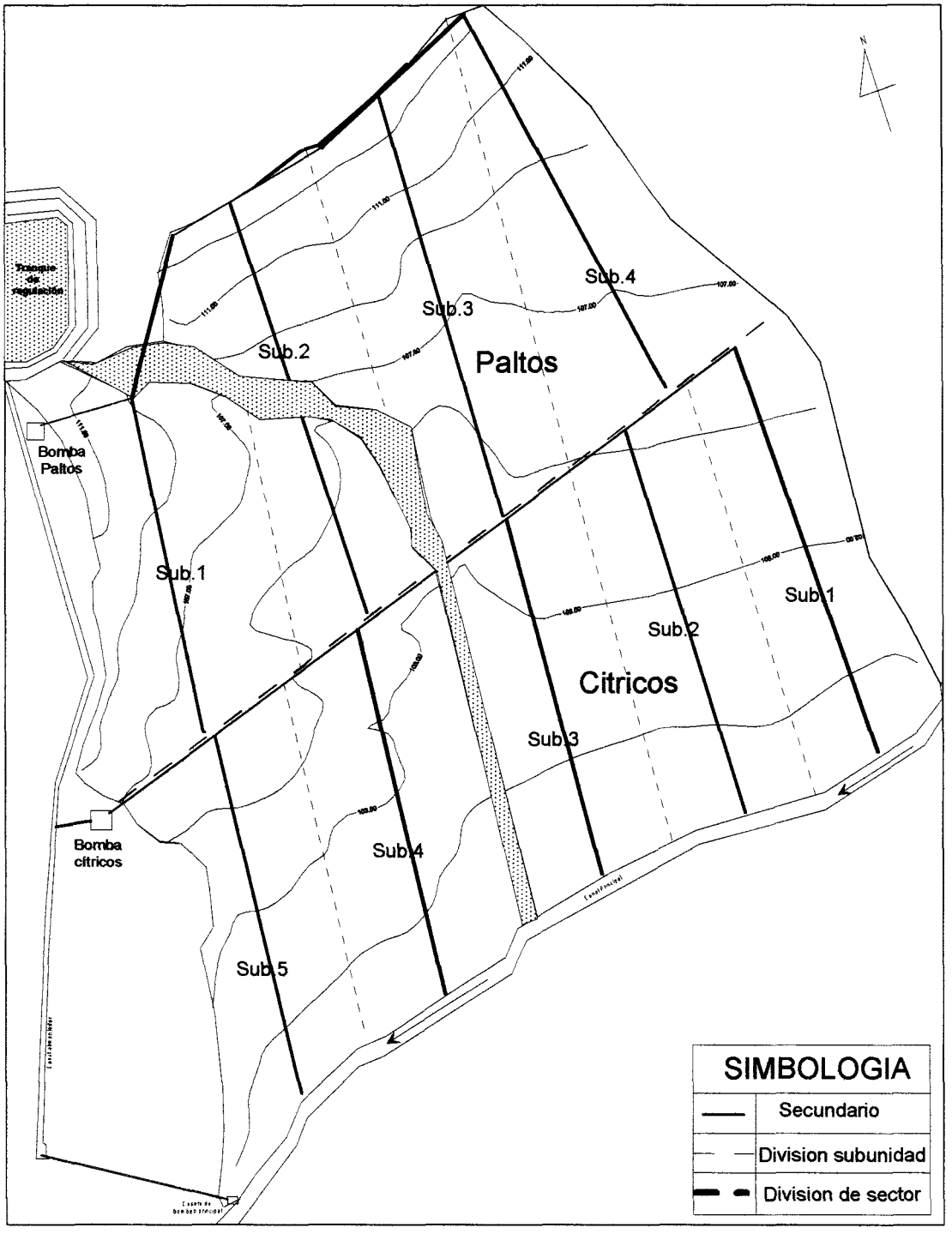

Figura 5. Sector del campo equipado con riego y sus distribuciones.

4.3 Diseño con modelo de optimización.

El modelo de optimización requiere de antecedentes económicos, de función de producción, manejo del riego, marco de plantación, dimensiones del terreno, criterios de pérdida de carga en la subunidad, costos de la tubería, características del equipo de riego, requerimientos hídricos, características del emisor y parámetros financieros.

4.3.1 Sector cítricos:

Los antecedentes que se utilizaron para el diseño de este sector son los expuestos en la Tabla 11.

Tabla 11: Antecedentes utilizados por el modelo de optimización para el sector de los Cítricos.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Constante de la función de energía	2,0	-
Constante de la función de producción	-1,307	-
Constante de la función de producción	2,71	-
Constante de la función de producción	-0,394	-
Factor de tiempo	0,73	-
Días de riego por estación de riego	212,0	días
Espaciamiento entre salidas o árboles	4,0	m
Espaciamiento entre laterales o hileras	5,0	m
Largo del campo en Y	234,5	m
Largo del campo en X	426,4	m
Precio del producto	100,0	$/kg
Producción máxima	60.000,0	Kg/há
Evapotranspiración máxima en la estación	0,7894	m/estación
Factor de conversión	2,778E-4	-
Pérdida de carga permitida en la subunidad	0,3	m.c.a
Pérdida de carga permitida en el lateral	0,2	m.c.a
Superficie	10.000,0	m^2
Pérdida de carga en la red de distribución	0,05	-
Diferencia de elevación	6,0	m
Eficiencia del riego	95	%
Número de emisores por árbol	4,0	-

Continuación Tabla 11.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Eficiencia de motor y bomba	60	%
Factor de pérdida de carga en la tubería	4,49E-10	-
Factor de pérdida de carga en la Tee	5,47E-9	-
Número de Tee desde el secundario al lateral	2,0	-
Disponibilidad de agua	160,0	m^3/hr
Horas diarias disponibles para riego	20,0	hr
Máximo volumen de agua diaria por árbol	0,300	m^3/día
Constante de salidas múltiples	0,33333	-
Constante de salidas múltiples	0,666667	-
Constante del costo de la tubería de PE	0,7152	-
Constante del costo de la tubería de PVC	0,1708	-
Constante del costo de las Tee	0,0011	-
Constante del costo de las Tee	0,1522	-
Constante del costo del cabezal de control	566.208,0	-
Constante del costo de bombeo	78.045,0	-
Constante pérdida de carga por inserción del emisor	2,073E-5	-
Factor de perdida de carga del auxiliar al lateral (Darcy-Weisbach)	0,02	-
Constante del costo del cabezal de control	0,3636	-
Exponente del costo de la tubería de PE	1,7065	-
Exponente del costo de la tubería de PVC	1,9947	-
1ª Exponente del costo de las Tee	3,2867	-
2ª Exponente del costo de las Tee	2,121	-
Exponente del costo de bombeo	0,7825	-
Exponente de pérdida de carga por inserción del emisor	-1,976	-
Exponente del costo del cabezal	1,474	-
Factor de recuperación del capital	0,16	-
Factor anual equivalente del costo de la energía	1,751	-
Precio de válvula con regulador de presión	60.000,0	$
Precio del gromit	75,0	$
Precio del emisor	65,0	$
Factor de conversión de HP a KW	0,746	-
Precio del Kilowatt-hora	63,0	$
Largo del elevador	0,6	m
Radio de descarga del emisor	1,0	m
Largo mínimo del lateral	60,0	m
Constante de la ec. de descarga del emisor	0,0049554	-
Exponente de la ec. de descarga del emisor	0,149	-

Los resultados del modelo para los antecedentes considerados, se entregan en la Tabla12.

Tabla 12: Resultados del modelo de optimización para el sector de los Cítricos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
QE	Descarga del emisor	0,007	m^3/hr
HE	Presión de trabajo del emisor	7,67	m.c.a
NU	Número de salidas por par de laterales	20,32	-
NL	Número de laterales	22,45	-
NS	Número de subunidades	10	-
NSW	Número de subunidades trabajando a la vez	2	-
IHP	Horas de trabajo por set en período de peak	4	hr
DL	Diámetro del lateral	0,012	m
DM	Diámetro del secundario	0,040	m
DR	Diámetro del elevador	0,016	m
DA	Diámetro del auxiliar	0,075	m
DSM	Diámetro del subprincipal	0,140	m
DMA	Diámetro del principal	0,160	m
TNE	Número de emisores	19.998,2	-
TLL	Largo total en laterales	19.013,9	m
TLM	Largo total de secundario	1175,4	m
TAL	Largo total de auxiliar	445,4	m
TRL	Largo total de elevadores	147,6	m
TLS	Largo total de subprincipal	467,9	m
TMA	Largo total de principal	263,8	m
TTM	Número de tee total de secundario-elevador	246,0	-
TNP	Número total de gromit	492,1	-
TTL	Número total de tee elevador-lateral	246,0	-
TTA	Número total de tee auxiliar-secundario	10,9	-
TVP	Número total de válvulas reguladoras de presión	10,9	-
TTS	Número total de tee auxiliar- subprincipal	10,9	-

Los datos entregados por el modelo para la selección de la bomba son:

Caudal Total = 26 m^3/hr; Presión total = 12 m.c.a, Potencia = 1,22 kW.

Con esto es posible seleccionar la bomba **VOGT N629**, con una eficiencia de bomba de un 78% y un rodete de 180mm funcionando a 1450 rpm. La potencia del motor será de 1,1kW.

4.3.2 Sector Paltos:

Los antecedentes que se utilizaron para el diseño de este sector son los expuestos en la Tabla 13:

Tabla 13: Antecedentes requeridos para el uso del modelo de optimización en le sector de los platos.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Constante de la función de energía	2,0	-
Constante de la función de producción	-1,307	-
Constante de la función de producción	2,71	-
Constante de la función de producción	-0,394	-
Factor de tiempo	0,73	-
Días de riego por sesión	212,0	días
Espaciamiento entre salidas o árboles	4,0	m
Espaciamiento entre laterales o hileras	6,0	m
Largo del campo en Y	235,0	m
Largo del campo en X	425,5	m
Precio del producto	400,0	$/kg
Producción máxima	20.000,0	kg/há
Evapotranspiración máxima por sesión	0,7894	m/sesión
Factor de conversión	2,778E-4	m.c.a
Pérdida de carga permitida en la subunidad	0,3	m.c.a
Pérdida de carga permitida en el lateral	0,2	-
Superficie	10.000,0	m^2
Pérdida de carga en la red de distribución	0,05	-
Diferencia de elevación	6,0	m
Eficiencia del riego	91	%
Número de emisores por árbol	1	-
Eficiencia de motor y bomba	60	%
Factor de pérdida de carga en la tubería	4,49E-10	-
Factor de pérdida de carga en la Tee	5,47E-9	-
Número de Tee desde el secundario al lateral	2,0	-
Disponibilidad de agua	160,0	m^3/hr
Horas diarias disponibles para riego	20,0	hr
Máximo volumen de agua diaria a aplicar por árbol	0,300	m^3/día
Constante de salidas múltiples	0,33333	-

Continuación Tabla 13.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Constante de salidas múltiples	0,666667	-
Constante del costo de la tubería de PE	0,7152	-
Constante del costo de la tubería de PVC	0,1708	-
Constante del costo de las Tee	0,0011	-
Constante del costo de las Tee	0,1522	-
Constante del costo del cabezal de control	566.208,0	-
Constante del costo de bombeo	78.045,0	-
Constante pérdida de carga por inserción del emisor	2,073E-5	-
Factor de perdida de carga del auxiliar al lateral (darcy-Weisbach)	0,02	-
Constante del costo del cabezal de control	0,3636	-
Exponente del costo de la tubería de PE	1,7065	-
Exponente del costo de la tubería de PVC	1,9947	-
Exponente del costo de las Tee	3,2867	-
Exponente del costo de las Tee	2,121	-
Exponente del costo de bombeo	0,7825	-
Exponente de pérdida de carga por inserción del emisor	-1,976	-
Exponente del costo del cabezal	1,474	-
Factor de recuperación del capital	0,16	-
Factor anual equivalente del costo de la energía	1,751	-
Precio de válvula con regulador de presión	60.000,0	$
Precio del gromit	75,0	$
Precio del emisor	65,0	$
Factor de conversión de HP a KW	0,746	-
Precio del Kilowatt-hora	63,0	$
Largo del elevador	0,6	m
Radio de descarga del emisor	3,4	m
Largo mínimo del lateral	60,0	m
Constante de la ec. de descarga del emisor	0,016271604	-
Exponente de la ec. de descarga de emisor	0,19973125	-

Tabla 14: Resultados del modelo de optimización para el sector de los Paltos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
QE	Descarga del emisor	0,027	m^3/hr
HE	Presión de trabajo del emisor	12,6	m.c.a
UN	Número de salidas por par de laterales	52,2	-
NL	Número de laterales	18,5	-
NS	Número de subunidades	4,0	-
NSW	Número de subunidades trabajando a la vez	1,0	-
IHP	Horas de trabajo por set en período de peak	5,0	hr
DL	Diámetro del lateral	0,020	m
DM	Diámetro del secundario	0,075	m
DR	Diámetro del elevador	0,025	m
DA	Diámetro del auxiliar	0,140	m
DSM	Diámetro del subprincipal	0,160	m
DMA	Diámetro del principal	0,140	m
TNE	Número de emisores	4.166,4	-
TLL	Largo total en laterales	16.346,1	m
TLM	Largo total de secundario	453,2	m
TAL	Largo total de auxiliar	448,4	m
TRL	Largo total de elevadores	47,9	m
TLS	Largo total de subprincipal	182,7	m
TMA	Largo total de principal	8,0	m
TTM	Número de tee total de secundario- elevador	79,8	-
TNP	Número total de gromit	159,7	-
TTL	Número total de tee elevador-lateral	79,8	-
TTA	Número total de tee auxiliar-secundario	4,296	-
TVP	Número total de válvulas reguladoras de presión	4,296	-
TTS	Número total de tee auxiliar- subprincipal	4,296	-

Los datos entregados por el modelo para la selección de la bomba son:

Caudal Total = 29 m^3/hr; Presión total = 18 m.c.a, Potencia = 2,1 kW.

Con esto es posible seleccionar la bomba **VOGT N630**, con una eficiencia de bomba un 62% y un rodete de 220mm funcionando a 1450 rpm. La potencia del motor será de 1,6kW.

Un bosquejo de la distribución de tuberías y subunidades para el sector del diseño se muestra en la Figura 7.

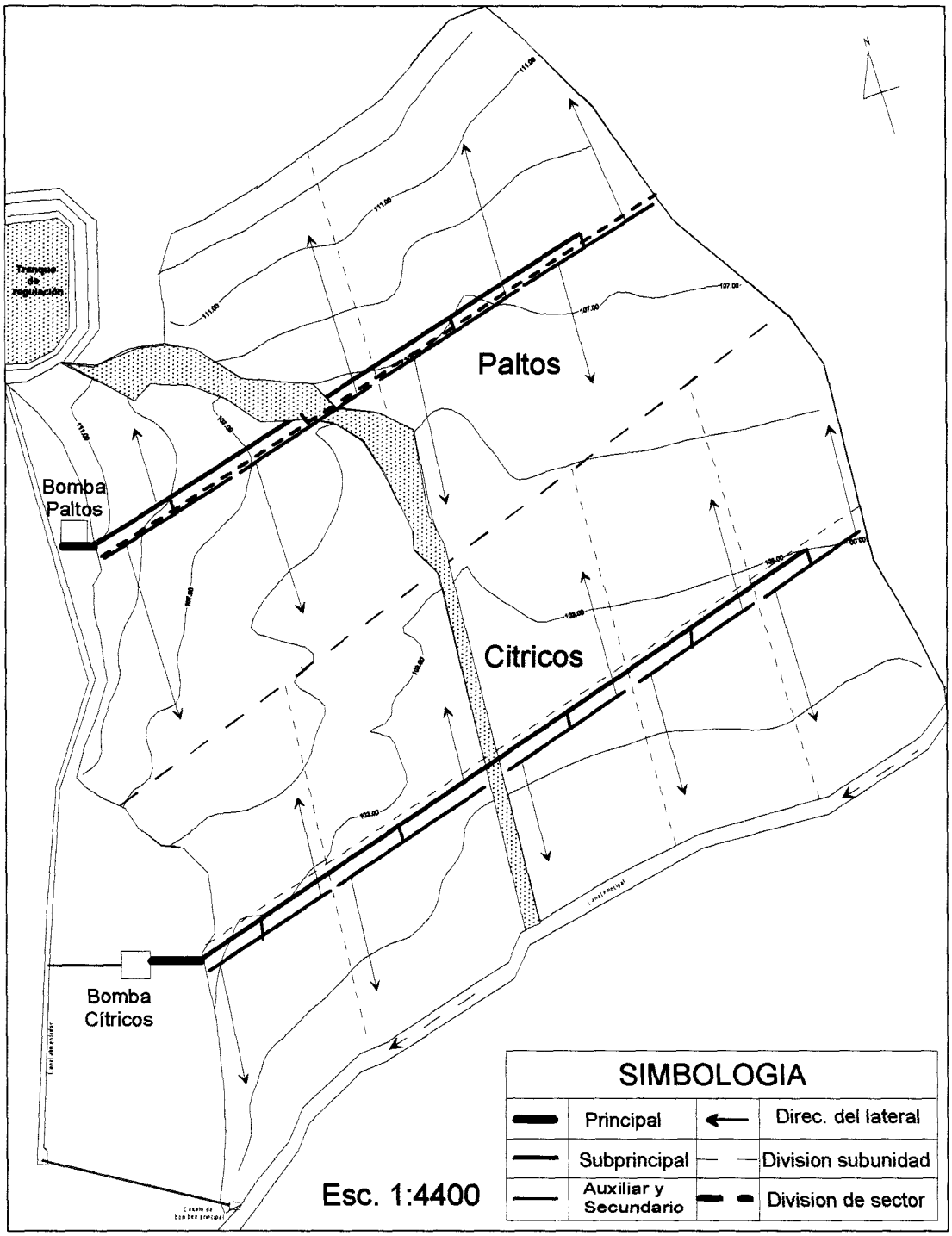

Figura 7. Distribución tentativa de las tuberías del modelo de optimización.

V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE AMBOS METODOS DE DISEÑO.

El análisis de diseños para riego presurizado en Cítricos y Paltos a través del método común y el modelo de optimización desarrollado por Holzapfel *et al*,(1990), se realiza básicamente considerando la diferencia de aproximación en diseño y los resultados obtenidos .

La principal diferencia que muestra el modelo de optimización para abordar el problema frente al método común, es que éste basa su análisis en costos y beneficios para establecer los diferentes diámetros de las tuberías, caudal del emisor y costo del cabezal del sistema. Además el modelo de optimización dispone las tuberías en el terreno incluyendo siempre principal, subprincipal, auxiliar y secundario, sin considerar la diferencia de cota que existente dentro de la unidad; por lo que es necesario realizar ajustes al diseño.

Los resultados obtenidos por ambos métodos de diseño, con relación al número y descarga de goteros son prácticamente los mismos, no así en el caso del diámetro de tuberías y laterales. Esta diferencia puede explicarse considerando que el modelo de optimización traza los laterales en el sentido de la mayor longitud de la subunidad, obteniendo largos mayores de laterales en el caso de los paltos en comparación con el método común que se trazó perpendicular a la pendiente del terreno, optándose por la menor longitud en la subunidad. En el caso del diseño para cítricos también se incorpora otra variable para explicar la variación, en la cantidad de subunidades, ya que por

requerimientos del modelo, este establece el doble de subunidades que para el diseño común.

Otro aspecto relevante en el diseño, utilizando el modelo de optimización es el inconveniente que presenta para establecer las presiones de trabajo, al utilizar emisores autocompensados, ya que las determina muy al límite inferior del rango del emisor lo que pudiera producir serias distorsiones en el caudal del gotero cuando existen muchas diferencias topográficas. Ello porque la función objetivo es maximizar la ganancia.

Otro inconveniente que presentó el modelo es que no considera las variaciones de cota del terreno y asume una geometría regular, por lo que se debe ajustar el resultado para situaciones de geometría y topografía irregular.

Para comparar el diseño de ambos métodos utilizados, se consideró realizar un análisis de los costos de las tuberías de P.V.C, Polietileno y número de emisores. Los resultados para ambos métodos de diseño se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Resultados de tuberías y emisores de los diseños sector Cítricos.

DESCRIPCIÓN	MODELO DE OPTIMIZACIÓN CANTIDAD(m)	COSTO OPTIMIZACIÓN($) (TUBO E INST.)	MÉTODO COMÚN CANTIDAD(m)	COSTO COMÚN($) (TUBO E INST.)
Laterales	19.013,9	988.722,8	19.600,0	1.274.000,0
Secundario	1.175,4	452.760,3	1.151,0	720.852,1
Auxiliar	445,4	278.696,1	-	-
Sub-Principal	467,9	730.056,6	380,0	485.874,3
Principal	263,8	529.526,8	-	-
Emisores totales	19.998,0	-	20.000,0	-
Sub-Total ($)	-	**2.979.762,6**	-	**2.480.726,4**

Tabla 16. Resultados de tuberías y emisores de los diseños sector Paltos.

DESCRIPCIÓN	MODELO DE OPTIMIZACIÓN CANTIDAD(m)	COSTO OPTIMIZACIÓN($) (TUBO E INST.)	MÉTODO COMÚN CANTIDAD(m)	COSTO COMÚN($) (TUBO E INST.)
Laterales	16.346,1	2.059.608,6	16.300,0	1.059.500
Secundario	453,2	283.732,5	995,0	623.151,9
Auxiliar	448,4	698.909,9	-	-
Sub-Principal	182,7	367.058,4	371,0	474.366,8
Principal	8,0	12.479,6	-	-
Emisores totales	4.166,4	-	4.148,0	-
Sub-Total ($)	-	**3.421.789,0**	-	**2.157.018,7**

Nota: Los costos de instalación y de tuberías son de la revista Ondac de marzo de 1999.

Es importante tener en cuenta que aquí solo se han presentado los costos de inversión en tuberías y emisores, y no se ha incorporado un análisis con los costos de operación, como tampoco los beneficios que pudieran ser relevantes en el caso del modelo de optimización al seleccionar las tuberías.

Las potencias de las bombas en ambas técnicas de diseño son sustancialmente distintas, debido principalmente a que el modelo de optimización no utiliza las pérdidas de carga que se producen en el cabezal de filtrado.

Al modelo de optimización se le realizó un análisis de sensibilidad aumentando y disminuyendo en un 30% la producción y otro aumentando al doble los costos de las diferentes variables como tuberías, fittings, bomba y cabezal de filtrado. Se obtuvo que el modelo ajusta el diseño al incrementarse los costos, minimizando el diámetro de los laterales y disminuyendo la presión de trabajo de los emisores, en desmedro del aumento del diámetro del resto de las tuberías. Esto debido a que el porcentaje mayor de los costos totales en materiales recae en los laterales y bomba. Sin embargo para el caso de variaciones en los niveles de producción, el modelo no entregó diferencias significativas.

La mayor desventaja que presenta el método común de diseño es que es más engorroso y lento el análisis económico para la elección de los componentes de un sistema de riego presurizado. Además es importante mencionar que las decisiones que para este tipo de diseños se toman utilizando "criterios de diseño" que no siempre son los recomendables bajo términos económicos.

ANALISIS FINAL.

1. El método común de diseño para cítricos estableció 4 goteros por árbol, con un caudal de 8 lt/hr, un tiempo de riego de 4 hr y un número total de 5 subunidades, funcionando en forma simultanea 1 cada vez. La pérdida de carga en las subunidades es de 5,19 m.c.a. con una variación de un 2,9 %. En el caso del modelo de optimización se usó 4 goteros por árbol, con un caudal de 7 lt/hr, un tiempo de riego de 4 hr y un número total de 10 subunidades, funcionando simultaneamente 2 cada vez.

2. El método común para paltos utiliza 1 microjet por árbol, con un caudal de 30 lt/hr, un tiempo de riego de 5 hrs y un número total de 4 subunidades, tabajando en forma simultanea 1 por vez. La pérdida de carga en las subunidades es de 6,31 m.c.a. con una variación de un 4,4%. En el caso del modelo de optimización se usó 1 microjet por árbol, cada uno entregando un caudal de 27 lt/hr, con un tiempo de riego de 5 hr y un número total de 4 subunidades, funcionando en forma simultanea 1 cada vez.

3. El número de subunidades, para paltos fue igual en ambas técnicas de diseño. Sin embargo en cítricos a través del modelo de optimización se determinó el doble de subunidades debido a que requiere a lo menos dos subunidades por lado, lo que no considera el método manual.

4. El modelo de optimización entrega resultados adecuados, en cuanto a la determinación de caudal por emisor y tiempos de riego. No así en el caso de los largos de los laterales, debido a la metodología que utiliza, ya que esta se basa en fijar el largo máximo para los laterales y determinar el diámetro, mientras que en el modelo común se fijo el diámetro, y se buscó el largo máximo posible con ese diámetro.

5. La forma de distribución de las tuberías de ambos técnica de diseño es sustancialmente distinta, ya que el modelo de optimización utiliza una distribución de tuberías del tipo tradicional fija (principal, sub-principal, auxiliar, secundario y lateral). Sin embargo en el método común de diseño es posible generar diferentes alternativas de distribución de tuberías, adecuándose de mejor forma al terreno.

6. Como recomendación final podemos decir que el modelo de optimización es útil como base inicial de diseño, utilizando posteriormente la metodología común..

VII. SUMMARY.

The present project was carried out at the "Santa Magdalena de Larmahue" farm, located at 5 [km] from Larmahue, Pichidegua County and Province of Colchagua, VI region.

The study consist in the pressurized irrigation system design for citrus and avocado orchards. Design methods used were the common and the optimization model. The surface area is 20 [há] with an heterogeneous topography and irregular shape, in a sandy loam soil.

The result shows that the citrus are irrigated by drip with four emitters per tree and avocados are irrigated by microjet with one per tree. The requirements are 5,86 [mm/day] for citrus and 6,29 [mm/day] for avocados. The plant frames are 5m x 4m and 6m x 4m for citrus and avocados respectively.

The optimization model design should be adjust for the shape condition of the land.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Comisión Nacional de Riego (Chile). 1996. Manual de Obras Menores de Riego. Comisión Nacional de Riego/CIREN. Santiago, Chile.
2. Holzapfel E., M. Mariño and J. Chavez-Morales. 1985. Performance irrigation parameters and their relationship to surface irrigation design variables and Yield. Agric. Water Magna. 10:159-174.
3. Holzapfel E., M. Mariño and A. Valenzuela.1990. Drip Irrigation Nonlinear Optimization Model. J. Irrig. Drain. Eng. 116 (4): 479-496
4. Karmeli, D. 1985. Irrigation Systems: Design and Operation, Oxford University Press. Cape Town, England.
5. Pizarro, F. C. 1990. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. (2ª ed). Mundi-Prensa. Madrid, España.
6. Zazueta, F. S. R. 1992. Micro Irrigation. ICFA International. Mixcóac, México.

IX. APENDICE.

Simbología utilizada.

π = 3,1416;

Δha = pérdida de carga en el sub-principal en m.c.a;

Δhl = pérdida de carga en el lateral en m.c.a;

ΔQ = diferencia de caudal en %;

ρ_S = gravedad especifica;

ΔZ = diferencia de cota en m;

RAF = requerimientos de agua del frutal en mm/día;

α = ángulo de aplicación del emisor (°);

$Area$ = área del sector a regar en há;

b = espaciamiento entre hilera en m;

C = constante para el polietileno;

Cu = coeficiente de uniformidad, en %.

d = diámetro de la partícula a retener;

D = diámetro interno del lateral en mm;

Eb = evapotranspiración de bandeja en mm/día;

E_f = eficiencia del método de riego en %;

F = factor de almacenamiento;

h = profundidad de decantador;

i = grupo de emisores;

I_b = infiltración básica del suelo;

L = largo del lateral(un brazo) en m;

n = número de datos;

n_e = número de grupo de emisores;

Net = número de emisores por árbol;

N_g = número de emisores por lateral;

N_l = número de laterales;

P = porcentaje de sombreamiento ≤70%;

P_e = presión de trabajo del emisor en m.c.a;

P_{end} = presión a la salida;

P_{in} = presión de entrada;

P_{insec} = presión de ingreso al secundario que tiene el lateral más desfavorable de todas las subunidades;

Pmh = porcentaje mínimo de humedecimiento del suelo;

Q = caudal de agua a decantar en m^3/min;

Q_e = caudal del emisor a la presión P_e en lt/hr;

Q_l = caudal del lateral en m3/hr;

r = espaciamiento sobre hilera en m;

t = tiempo en min;

T_{app} = tiempo de aplicación en hr;

T_d = tiempo disponible para riego en hr;

T_u = tamaño de la subunidad en há;

Vi = velocidad de infiltración en cm/min;

V_s = velocidad del agua en el decantador;

WD = diámetro de mojadura en m;

$WD_{mín}$ = diámetro de mojadura mínimo del emisor en la superficie del suelo en m;

x = exponente de ecuación del emisor;

x = número de orden.

El modelo de optimización utilizado es el siguiente:

```
* $TITLE DRIP IRRIGATION DESIGN MODEL FOR ORCHARDS
*
$TITLE SCALAR, PARAMETERS, VARIABLES AND EQUATIONS
SCALAR
    AB  POWER FUNCTION CONSTANT/2.00/
    AC  PRODUC FUNCT CONST/-1.307/
    BC  PRODUC FUNCT CONST TWO/2.71/
    CC  PRODUC FUNCT CONST THREE/-0.394/
    FT  TIME FACTOR/0.73/
    DS  DAYS OF IRRIGATION PER SEASON/151.0/
    SE  SPACE BETWEEN OUTLETS OR TREE/5.0/
    SL  SPACE BETWEEN LATERALS OR ROW/4.0/
    SY  FIELD LENGTH IN Y/250.0/
    SX  FIELD LENGTH IN X/450.0/
    PP  PRICE OF PRODUCT/100.0/
    MAY  MAXIMUM YIELD/60000.0/
    MET  MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION OF SEASON/0.632/
    FQ  CONVERSION FACTOR/2.778E-4/
    H0  PERMITED HEADLOSS IN SUBUN/0.3/
    H2  PERMITED HEADLOS IN LATERAL/0.2/
    HA  HECTARE/10000.0/
    H1  PERMITED HEADLOSS IN NETDIS/0.05/
    HZ  DIFFERENCES IN ELEVATION/6.0/
    EF  IRRIGATION EFFICIENCY/0.95/
    EG  NUMBER OF EMITTER PER TREE/4.0/
    PE  PUMP AND MOTOR EFFICIENCY/0.60/
    K0  HEADLOSS PIPE FACTOR/4.49E-10/
    K1  HEADLOSS TEE FACTOR/5.47E-9/
    NT  NUMBER OF TEE IN PATH FROM MANIFOLD/2.0/
    QA  AVAILABLE WATER IN M3 PER HOUR/160.0/
    NHA  AVAILABLE HOURS A DAY FIR IRR/20.0/
    MVA  MAX VOL APPL M3 PER DAY PER TREE/0.300/
    K3  MULTIOULET CONST/0.33333/
    K4  MULTIOULET CONST TWO/0.666667/
    C0  PIPE PE COST CONS/66.45/
    C1  PIPE PVC COST CONS/1993.7/
    C2  TEE ONE COST CONS/211.1/
    C3  TEE TWO COST CONS/53.781/
    C4  CONTHE COST CONS/466447/
    C5  PUMP COST CONS/263910/
    C6  BARB CONS/2.073E-5/
    C7  CONTHE FACTOR/0.02/
    CB  CONTHE CONS COST/-730673/
    P0  PIPE PE POW COST/0.4678/
    P1  PIPE PVC POW COST/0.3362/
    P2  TEE ONE POW COST/0.0278/
    P3  TEE TWO POW COST/0.4874/
    P5  PUMP POW COST/0.0525/
```

```
    P6  BARB POW/-1.976/
    P7  CONTHE POW/1.474/
    CRF  CAPITAL RECOVERY FACTOR/0.16/
    ENA  EQUI ANNUAL FACTOR ENERGY/1.751/
    CVP  PRICE OF VALVE AND PRES/60000.0/
    CP   PRICE OF PLUGS/75.0/
    CEM  PRICE OF EMITTERS/65.0/
    FHPW CONVERSION FACTOR HE TO KW/0.746/
    CKWH PRICE OF KILOWATT HOUR/63.0/
    LR   RISER LENGTH/0.6/
    EDR  EMITTER RATIO TO DISCH/1.0/
    MINL MINIMUM LENGTH/60.0/
    K5   EMITTER DISCH CONS/0.004035/
    K6   EMITTER POW DISCH/0.1986/;
PARAMETERS
    A   AREA
    ZA  FACTOR PROD ONE
    ZD  FACTOR EMITTER
    ZE  FACTOR LATERAL
    ZF  FACTOR RAISER
    ZG  FACTOR MANIFOLD
    ZH  FACTOR AUXILIARY
    ZI  FACTOR SUBMAIN
    ZJ  FACTOR SUBMTWO
    ZK  FACTOR RAISER
    ZL  FACTOR MAIN
    ZM  FACTOR TEE
    ZN  FACTOR PUMP
    ZO  FACTOR HEADLOSS
    ZR  FACTOR HEDLS AUX
    ZS  FACTOR ENERGY
    ZT  FACTOR AREA;
*
    A=SX*SY;
    ZA=((EG*FT*DS*EF)/(SE*SL*MET));
    ZD=(A*EG*CEM)/(SL*SE);
    ZE=A/SL;
    ZF=(A*LR)/(SE*SL);
    ZG=A/SE;
    ZH=(0.5*A)/SL;
    ZK=LR*(EG**1.75);
    ZI=(0.5*A)/SE;
    ZJ=(0.25*SX*SL)/SE;
    ZL=2.0*SE;
    ZM=A/(SE*SL);
    ZN=(FQ*1000.0)/(75.0*PE);
    ZO=0.5*SE*((0.5*EG)**1.75);
    ZR=0.5*SE*(EG**1.75);
    ZS=(FT*DS*FHPW*CKWH);
    ZT=HA/A;
```

```
*
DISPLAY A, ZA, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZK,
    ZI, ZJ, ZL, ZM, ZN, ZO, ZR, ZS, ZT;
*
VARIABLES
    NS  NUMBER OF SUBUNITS
    QE  EMITTER DISCHARGE
    NU  NUMBER OF OUTLETS PER PAIR OF LATERALS
    NL  NUMBER OF LATERALS
    NSW NUMBER OF SUBUNITS WORKING AT A TIME
    HE  EMITTER WORK PRESSURE
    IHP HOURS OF WORK PER SET PEAK PERIOD
    DL  LATERAL DIAMETER
    DM  MANIFOLD DIAMETER
    DR  RAISER DIAMETER
    DA  AUXILIARY DIAMETER
    DSM SUBMAIN DIAMETER
    DMA MAIN DIAMETER
    NSX SUBUNIT IN X DIR
    NSY SUBUNIT IN Y DIR
    P   PROFIT;
*
EQUATIONS
    MDS  PROFIT FUNCTION
    RWM  MAXIMUM REL WATER
    RWI  MINIMUM REL WATER
    SUH  SUBUNIT HEADLOSS
    LAH  LATERAL HEADLOSS
    DHN  DISTRIBUTION HEADLOSS
    WAT  WATER AVAILABILITY
    TIM  TIME AVAILABLE
    ARE  AREA IRRIGATED
    EPD  EMITTER PRESSURE
    RLL  MAXIMUM LATERAL LENGTH
    RLM  MAXIMUM MANIFOLD LENGTH
    NSU  NUMBER OF TOTAL SUBUNITS
    MWA  MAXIMUM WATER APPLIED;
MDS..  P=E=(PP*MAY*(AC*((ZA*QE*IHP)**AB)+(BC*ZA*QE*IHP)+CC))-((ZD+
     (ZE*(1-(NU**(-1.0)))*(C0*(DL**P0)))+(ZF*(NU**(-1.0))*(C0*DR
     **P0))+(ZG*((NU**(-1.0))*(1-(NL**(-1.0))))*(C1*DM**P1))+(ZH*
     (NL**(-1.0))*(C1*DA**P1))+(((NU**(-1.0))*(ZI-ZJ*NL))*
     (C1*DSM**P1))+((SX-ZL*NU)*(C1*DMA**P1))+((ZM*NU**(-1.0))*
     ((C2*DL**P2)+(C3*DM**P3)+(NL**(-1.0))*(C3*DA**P3)+
     (2.0*CP)+((NL**(-1.0))*CVP)))+(C4*(NU*NL*NSW*EG*QE)+
     CB))*CRF*ZT)-(((C5*((ZN*QE*EG*NU*NL*NSW)*((1.3*HE)+(C7*
     ((QE*NU*EG*NL*NSW)**P7))+HZ))**P5))*CRF*ZT)
     -((((ZN*QE*NU*NL*NSW*EG)*((1.3*HE)+(C7*((QE*NU*EG*NL*NSW)
     **P7))+HZ))*IHP*NS*(NSW**(-1.0))*ZS)*ENA*ZT);
RWM..  ZA*QE*IHP=L=1.008;
RWI..  ZA*QE*IHP=G=0.15;
```

```
SUH..   ((K0*ZO*NU*((QE*NU)**1.75)*(DL**(-4.75))*(K3+(1/NU)+K4*(NU
        **(-2.0)))*((SE+(C6*DL**(P6)))/SE))+(K0*ZO*NL*((QE*NU*NL)**
        1.75)*(DM**(-4.75))*(K3+(1/NL)+K4*NL**(-2.0)))+(K0*ZR*NU*
        ((QE*NU*NL)**1.75)*(DA**(-4.75)))+(K0*ZK*((QE*NU)**1.75)*
        (DR**(-4.75)))+(K1*NT*((QE*NU*EG)**2.0)*(DR**(-4.0)))
        +(K1*((QE*NU*EG*NL)**2.0)*(DA**(-4.0))))/HE=L=H0;
LAH..   ((K0*ZO*NU*((QE*NU)**1.75)*(DL**(-4.75))
        *(K3+(1/NU)+K4*(NU**(-2.0)))*((SE+(C6*DL**(P6)))/SE)))
        /HE=L=H2;
DHN..   (K0*((SY-SL*NL)*((QE*EG*NU*NL*NSW)**1.75)*(DSM**(-4.75))
        +(SX-ZL*NU)*((QE*NU*EG*NL*NSW)**1.75)*(DMA**(-4.75))))/
        HE=L=H1;
WAT..   EG*NU*NL*NSW*QE*(EF**(-1.0))=L=QA;
TIM..   IHP*NS*(NSW**(-1.0))=L=NHA;
ARE..   SE*SL*(NU+1)*(NL+1)*NS=E=A;
EPD..   QE=E=(K5*(HE**K6));
RLL..   (1+NU)*SE*NSX=E=SX;
RLM..   (1+NL)*SL*NSY=E=SY;
NSU..   NSX*NSY=E=NS;
MWA..   EG*QE*IHP=L=MVA;
*
* BOUNDS OF VARIABLES
*
HE.UP = 35.0;
HE.LO = 1.0;
DL.LO = 0.020;
DM.UP = 0.063;
DM.LO = 0.063;
DR.UP = 0.040;
DR.LO = 0.040;
DA.UP = 0.300;
DA.LO = 0.110;
DSM.UP = 0.400;
DSM.LO = 0.200;
DMA.UP = 0.500;
DMA.LO = 0.200;
IHP.UP = 20.0;
IHP.LO = 1.0;
NSW.UP = 1.0;
NS.UP = 16.0;
NSW.LO = 1.0;
NS.LO = 4.0;
QE.LO = 0.0005;
NU.LO = 10.0;
NL.LO = 10.0;
NSX.LO = 2.0;
NSX.UP = 4.0;
NSY.LO = 2.0;
NSY.UP = 4.0;
*
```

```
* INITIAL VALUES
*
QE.L = 0.0041;
HE.L = 10.0;
NU.L = 33.0;
NL.L = 30.0;
NS.L = 4.0;
NSW.L = 1.0;
IHP.L = 10.0;
DL.L = 0.020;
DA.L = 0.110;
DM.L = 0.063;
DR.L = 0.040;
DSM.L = 0.202;
DMA.L = 0.350;
*
MODEL CHRIS5 /ALL/;
SOLVE CHRIS5 USING NLP MAXIMIZING P;
DISPLAY P.L, QE.L, HE.L, NU.L, NL.L, NS.L, NSW.L, IHP.L,
     DL.L, DM.L, DR.L, DA.L, DSM.L, DMA.L;
PARAMETERS
   TNE  NUMBER OF EMITTERS
   TLL  TOTAL LATERAL LENGTH IN M
   TLM  TOTAL MANIFOLD LENGTH IN M
   TAL  TOTAL AUXILIARY LENGTH IN M
   TRL  TOTAL RAISER LENGTH IN M
   TNP  TOTAL NUMBER OF PLUGS
   TTL  TOTAL NUM OF TEES RAISER-LATERAL
   TTM  TOTAL NUM OF TEES MANIFOLD-RAISER
   TTA  TOTAL NUM OF TEES AUXILIARY-MANIFOLD
   TVP  TOTAL NUM OF VALVE-PRESSURE REGULATOR
   TTS  TOTAL NUM OF TEES AUXILIARY-SBMAIN
   TLS  TOTAL SUNMAIN LENGTH IN M
   TMA  TOTAL MAIN LENGTH IN M;
   TNE=(A*EG)/(SE*SL);
   TLL=(A/SL)-(A/(SL*NU.L));
   TLM=(A/(NU.L*SE))-(A/(NU.L*SE*NL.L));
   TAL=(0.5*A)/(NL.L*SL);
   TRL=(A*LR)/(NU.L*SE*SL);
   TNP=(2.0*A)/(NU.L*SE*SL);
   TTL=A/(NU.L*SE*SL);
   TTM=A/(NU.L*SE*SL);
   TTA=A/(NU.L*NL.L*SE*SL);
   TVP=A/(NU.L*NL.L*SE*SL);
   TTS=A/(NU.L*NL.L*SE*SL);
   TLS=((0.5*A)/(NU.L*SE))-((0.25*SX*NL.L*SL)/(SE*NU.L));
   TMA=(SX-2.0*NU.L*SE);
DISPLAY TNE, TLL, TLM, TAL, TRL, TLS, TMA, TTM, TNP, TTL, TTM, TTA,
     TVP,                                                                    TTS;
```

TABLA 1a. Cálculo manual para la unidad 1 de cítricos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 1 DE CITRICOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	83	m
Largo (sb-uni)	245	m
Presión (10-30)	15,43	m.c.a
Caudal emisor	7,45	lt/hr
X emisor	0,149	
Diámetro int. lateral	13,6	mm
C polietileno	140	
g (dist. Entre grup Goteros)	4	m
r (dist entre hilera)	5	m
b (dist entre plantas)	4	m
# emisores x planta	4	

Cálculo perdida de carga del Lateral

Σ(i)^1,85	=	284,885
F =		0,402
J =		0,038
Pérdida del Lateral =		0,6315421 m.c.a
sobrante =		**1,05636222** m.c.a

# laterales	49	de	41,5	m
Delta Pres máx en el latera	3,09	m.c.a		
Delta HL lat máx	1,70	m.c.a		
# de grupo de goteros :	10			
# goteros x lateral	40			
Q del lateral	0,30	m3/hr		
Pres in	15,93	m.c.a		
Pres end	15,29	m.c.a		
Delta Q	0,61%			
CU	98,39	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	245	m
Area de Unidad	20335	m²
Desnivel de la Unidad	6,5	m

ΔCota		-6,50	m
Largo del secundario		245,00	m
Caudal del lateral (los 2 brazos)		596,01	lt/hr
ΔP máxima en la unidad		3,09	m.c.a
ΔHλ máx del lateral	55%	1,70	m.c.a
ΔH máx de secunadrio	45%	2,45	m.c.a
Número de laterales		49,00	
Caudal del secundario		29,20	m³/hr
Diámetro interior secundario		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		23699,59	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		1,85	%
ΔH del secundario		4,53	m.c.a
Pin al secundario		20,46	m.c.a
Pend del secundaerio		22,43	m.c.a
ΔQ		0,01	
CU		98,56	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 2a. Cálculo manual para la unidad 2 de cítricos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 2 DE CITRICOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	89	m
Largo (sb-uni)	227	m
Presión (10-30)	15,43	m.c.a
Caudal emisor	7,45	lt/hr
X emisor	0,149	
Diámetro intrno del lateral	13,6	mm
C polietileno	140	
g (dist. entre grup goteros)	4	m
r (dist. entre hilera)	5	m
b (dist entre plantas)	4	m
# emisores	4	

Cálculo pérdida de cárga del lateral

Σ(i)^1,85 = 369,331

F = 0,398

J = 0,046

Pérdida del lateral= 0,01068715 m.c.a

sobrante = 0,88704719 m.c.a

# lateral	45	de	44,5	m
Delta Pres máx	3,09	m.c.a		
Delta HL lat máx	1,70	m.c.a		
# de grupo de goteros :	11			
# goteros x lateral	44			
Q del lateral	0,33	m3/hr		
Pres in	16,06	m.c.a		
Pres end	15,25	m.c.a		
Delta Q	0,77%			
CU	99,23	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	227	m
Area de unidad	20203	m²
Desnivel de la unidad	5,5	m

ΔCota		-5,50	m
Largo del secudario		227,00	m
Caudal del lateral (los dos brazos)		655,61	lt/hr
ΔP		3,09	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	1,70	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	2,28	m.c.a
Número de laterales		46,00	
Caudal del secudario		30,16	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		19831,33	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		1,97	%
ΔH del secudario		4,46	m.c.a
Pin al secudario		20,52	m.c.a
Pend del secudario		21,56	m.c.a
ΔQ		0,01	
CU		99,23	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 3a. Cálculo manual para la unidad 3 de cítricos.

DISEÑO DE SSUB-UNIDAD 3 DE CITRICOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	90	m
Largo (sb-uni)	224	m
Presión (10-30)	15,43	m.c.a
Caudal emisor	7,45	lt/hr
X emisor	0,149	
Diámetro intrno del lateral	13,6	mm
C polietileno	140	
g (dist. entre grup goteros)	4	m
r (dist. entre hilera)	5	m
b (dist entre plantas)	4	m
# emisores	4	

Cálculo pérdida de cárga del lateral

Σ(i)^1,85 = 369,331

F = 0,398

J = 0,046

Pérdida del lateral= 0,01976566 m.c.a

sobrante = 0,87793868 m.c.a

# lateral	44	de	45	m
Delta Pres máx	3,09	m.c.a		
Delta HL lat máx	1,70	m.c.a		
# de grupo de goteros :	11			
# goteros x lateral	44			
Q del lateral	0,33	m3/hr		
Pres in	16,06	m.c.a		
Pres end	15,25	m.c.a		
Delta Q	0,78%			
CU	99,22	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	224 m
Area de unidad	20160 m²
Desnivel de la unidad	4,5 m

ΔCota		-4,50	m
Largo del secudario		224,00	m
Caudal del lateral (los dos brazos)		655,61	lt/hr
ΔP		3,09	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	1,70	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	2,27	m.c.a
Número de laterales		45,00	
Caudal del secudarioV		29,50	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		18639,81	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		1,89	%
ΔH del secudario		4,23	m.c.a
Pin al secudario		20,30	m.c.a
Pend del secudario		20,56	m.c.a
ΔQ		0,00	
CU		99,80	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 4a. Cálculo manual para la unidad 4 de cítricos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 4 DE CITRICOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	93	m
Largo (sb-uni)	225	m
Presión (10-30)	15,43	m.c.a
Caudal emisor	7,45	lt/hr
X emisor	0,149	
Diámetro intrno del lateral	13,6	mm
C polietileno	140	
g (dist. entre grup goteros)	4	m
r (dist. entre hilera)	5	m
b (dist entre plantas)	4	m
# emisores	4	

Cálculo pérdida de cárga del lateral

Σ(i)^1,85 = 369,331

F = 0,398

J = 0,046

Pérdida del lateral= 0,24709119 m.c.a

sobrante = 0,85061316 m.c.a

# lateral	45	de	46,5	m
Delta Pres máx	3,09	m.c.a		
Delta HL lat máx	1,70	m.c.a		
# de grupo de goteros :	11			
# goteros x lateral	44			
Q del lateral	0,33	m3/hr		
Pres in	16,09	m.c.a		
Pres end	15,24	m.c.a		
Delta Q	0,81%			
CU	99,19	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	225 m
Area de unidad	20925 m²
Desnivel de la unidad	5,5 m

ΔCota		-5,50	m
Largo del secudario		225,00	m
Caudal del lateral (los dos brazos)		655,61	lt/hr
ΔP		3,09	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	1,70	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	2,24	m.c.a
Número de laterales		45,00	
Caudal del secudario		29,50	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		18639,81	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		1,89	%
ΔH del secudario		4,25	m.c.a
Pin al secudario		20,34	m.c.a
Pend del secudario		21,59	m.c.a
ΔQ en la unidad		0,01	
CU		99,07	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 5a. Cálculo manual para la unidad 5 de cítricos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 5 DE CITRICOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	91	m
Largo (sb-uni)	230	m
Presión (10-30)	15,43	m.c.a
Caudal emisor	7,45	lt/hr
X emisor	0,149	
Diámetro intrno del lateral	13,6	mm
C polietileno	140	
g (dist. entre grup goteros)	4	m
r (dist. entre hilera)	5	m
b (dist entre plantas)	4	m
# emisores	4	

Cálculo pérdida de cárga del lateral

Σ(i)^1,85 = 369,331

F = 0,398

J = 0,046

Pérdida del lateral= 0,82887417 m.c.a

sobrante = 0,86883017 m.c.a

# lateral	46	de	45,5	m
Delta Pres máx	3,09	m.c.a		
Delta HL lat máx	1,70	m.c.a		
# de grupo de goteros :	11			
# goteros x lateral	44			
Q del lateral	0,33	m3/hr		
Pres in	16,07	m.c.a		
Pres end	15,24	m.c.a		
Delta Q	0,79%			
CU	99,21	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario		230	m
Area de unidad		20930	m²
Desnivel de la unidad		5,5	m

ΔCota		-5,50	m
Largo del secudario		230,00	m
Caudal del lateral (los dos brazos)		655,61	lt/hr
ΔP		3,09	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	1,70	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	2,26	m.c.a
Número de laterales		46,00	
Caudal del secudario		30,16	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		19831,33	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		1,97	%
ΔH del secudario		4,52	m.c.a
Pin al secudario		20,60	m.c.a
Pend del secudario		21,57	m.c.a
ΔQ en la unidad		0,01	
CU		99,28	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 6a. Cálculo manual para la unidad 1 de paltos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 1 DE PALTOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	98	m
Largo (sb-uni)	255	m
Presión (10-30)	22,04	mca
Caudal x grup de emisores	30,18	lt/hr
X emisor	0,1997	
Diámetro	13,6	mm
C	140	
# de laterales por hilera	1	
m (dist. Grupo de microjet)	4	m
r (dist. entre hileras)	6	m
b (dist sobre hileras)	4	m
# emisores	1	

Σ(i)^1,85 = 468,525

F= 0,394

J = 0,055

Pérdida del lateral = 1,062708656 m.c.a

sobrante = 1,361199912 m.c.a

# lateral	42	de	49	m
Delta Pres máx	4,41	m.c.a		
Delta HL lat máx	2,42	m.c.a		
# Grupo de emisores	12			
# de emisores x lateral :	12			
Q del lateral	0,36	m3/hr		
Pres in	22,85	m.c.a		
Pres end	21,79	m.c.a		
Delta Q	0,95%			
CU	99,05	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	255	m
Area de unidad	24990	m²
Desnivel de la unidad	8,5	m

ΔCota		-8,50	m
Largo del secudario		255,00	m
Caudal del lateral (los 2 brazos)		724,28	lt/hr
ΔP		4,41	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	2,42	m.c.a
ΔH máx secundario	45%	3,34	m.c.a
Número de laterales		43,00	
Caudal del secundario		31,14	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		16398,30	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		2,09	%
ΔH del secudario		5,33	m.c.a
Pin al secudario		28,19	m.c.a
Pend del secudario		31,35	m.c.a
ΔQ		0,02	
CU		97,74	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 7a. Cálculo manual para la unidad 2 de paltos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 2 DE PALTOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	99	m
Largo (sb-uni)	255	m
Presión (10-30)	22,04	mca
Caudal emisor	30,18	lt/hr
X emisor	0,1997	
Diámetro	13,6	mm
C	140	
# de laterales por hilera	1	
m (dist. Grup de microjet)	4	m
b (dist entre hileras)	6	m
r (dist. sobre hilera)	4	m
# emisores	1	

Σ(i)^1,85 = 468,525

F= 0,394

J = 0,055

Pérdida del lateral = 1,073552622 m.c.a

Sobrante = 1,350355946 m.c.a

# lateral	42	de	49,5	m
Delta Pres máx	4,41	m.c.a		
Delta HL lat máx	2,42	m.c.a		
# Grupo de emisores :	12			
# emisores x lateral	12			
Q del lateral	0,36	m3/hr		
Pres in	22,86	m.c.a		
Pres end	21,79	m.c.a		
Delta Q	0,96%			
CU	99,04	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRENO

Largo total secundario	255 m
Area de Subunidad	25245 m²
Desnivel de la unidad	10 m

ΔCota		-10,00	m
Largo del secudario		255,00	m
Caudal del lateral (los 2 brazos)		724,28	lt/hr
ΔP		4,41	m
ΔH máx del lateral	55%	2,42	m.c.a
ΔH máx del secudario	45%	3,33	m.c.a
Número de laterales		43,00	
Caudal del auxiliar		31,14	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		16398,30	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		2,09	%
ΔH del secudario		5,33	m.c.a
Pin al secudario		28,20	m.c.a
Pend del secudario		32,86	m.c.a
ΔQ		0,03	
CU		96,74	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 8a. Cálculo manual para la unidad 3 de paltos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 3 DE PALTOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	99	m
Largo (sb-uni)	255	m
Presión (10-30)	22,04	mca
Caudal emisor	30,18	lt/hr
X emisor	0,1997	
Diámetro	13,6	mm
C	140	
# de laterales por hilera	1	
m (dist. entre microjet)	4	m
r (dist. entre hileras)	6	m
b (dist sobre hileras)	4	m
# emisores	1	

Σ(i)^1,85 = 468,525

F= 0,394

J = 0,055

Pérdida del lateral = 1,07355262 m.c.a

sobrante = 1,35035595 m.c.a

# lateral	42	de	49,5	m
Delta Pres máx	4,41	m.c.a		
Delta HL lat máx	2,42	m.c.a		
# Grupo de emisores	12			
# emisores	12			
Q del lateral	0,36	m3/hr		
Pres in	22,86	m.c.a		
Pres end	21,79	m.c.a		
Delta Q	0,96%			
CU	99,04	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERRE

Largo total secundario		255	m
Area de unidad		25245	m²
Desnivel de la unidad		9	m
ΔCota		-9,00	m
Largo del secudario		255,00	m
Caudal del lateral (los 22 brazos)		724,28	lt/hr
ΔP		4,41	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	2,42	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	3,33	m.c.a
Número de laterales		43,00	
Caudal del secudario		31,14	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		16398,30	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		2,09	%
ΔH del secudario		5,33	m.c.a
Pin al secudario		28,20	m.c.a
Pend del secudario		31,86	m.c.a
ΔQ		0,03	
CU		97,40	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABL A 9a. Cálculo manual para la unidad 4 de paltos.

DISEÑO DE SUB-UNIDAD 4 DE PALTOS

DATOS DE LA SUB-UNIDAD		
Ancho (sb-uni)	109	m
Largo (sb-uni)	230	m
Presión (10-30)	22,04	mca
Caudal emisor	30,18	lt/hr
X emisor	0,1997	
Diámetro	13,6	mm
C	140	
# de laterales por hilera	1	
m (dist. entre microjet)	1	m
r (dist. entre hileras)	6	m
b (dist sobre hileras)	4	m
# emisores	1	

Σ(i)^1,85 = 583,551

F= 0,390

J = 0,064

Pérdida del lateral = 1,35916181 m.c.a

sobrante = 1,06475675 m.c.a

# lateral	38	de	54,5	m
Delta Pres máx	4,41	m.c.a		
Delta HL lat máx	2,42	m.c.a		
# Grupo de emisores :	13			
# emisores	13			
Q del lateral	0,39	m3/hr		
Pres in	23,08	m.c.a		
Pres end	21,72	m.c.a		
Delta Q	1,22%			
CU	98,78	%		

POSICION DEL SUB-PRINCIPAL EN EL TERREN

Largo total secundario	230	m
Area de unidad	25070	m²
Desnivel de la unidad	5,5	m

ΔCota		-9,00	m
Largo del secudario		230,00	m
Caudal del lateral (los 22 brazos)		784,63	lt/hr
ΔP		4,41	m.c.a
ΔH máx lateral	55%	2,42	m.c.a
ΔH máx secudario	45%	3,05	m.c.a
Número de laterales		39,00	
Caudal del auxiliar		30,60	m³/hr
Diámetro interior		71,40	mm
C (constante)		150,00	
Σ(i)^1,85 =		12456,49	
F (coeficiente de descarga)		0,36	
J (Hazen-Williams) x F		2,03	%
ΔH del secudario		4,67	m.c.a
Pin al secudario		27,76	m.c.a
Pend del secudario		32,08	m.c.a
ΔQ de la unidad		0,03	
CU		96,93	%

Diámetros de PVC

Externo	Interno C-4	Interno C-6
40	-	36,4
50	-	46,4
63	-	59,2
75	71,4	70,6
90	86,4	84,6
110	105,6	103,6
125	120,0	117,6
140	134,4	131,8
160	153,6	150,6
200	192,0	188,2
250	240,0	235,4
315	302,6	296,6
355	341,0	334
400	384,0	376,6

TABLA 10a. Diámetro óptimo para el principal de goteo.

PRINCIPAL DE GOTEO

Datos	
Vida Util (años)	18
Caudal (l / s)	8,28
Interes Anual (i)	18
Eficiencia de la bomba (Eb)	0,60
Costo de Energía (Cc)	63
FEE (Factor de Costo Equiv. de Energía)	1,60
Tasa de Incremento de Energía (9 %)	9
PPUC (Pot. Generada por Un. Combust.)	1,20
FRC (Factor de Recuper. de Capital)	0,19
Número de Horas de Operación por año (To)	3360

Cálculo Diámetro Optimo CLASE 4

Diámetros Tuberias Comerciales (mm)	75	90	110	125	140	160	200	250	315	355
Diámetro Interior (mts)	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,19	0,24	0,30	0,34
Pérdida de Carga cada 100 mts	5,29	2,09	0,79	0,42	0,24	0,13	0,04	0,01	0,00	0,00
Costo de instalación de 100 mts	$134.178	$152.168	$197.584	$246.756	$291.416	$344.323	$491.844	$692.059	$1.058.075	$1.374.884
CF (Costo Fijo Anualizado)	**$25.446**	**$28.857**	**$37.470**	**$46.795**	**$55.264**	**$65.297**	**$93.273**	**$131.242**	**$200.653**	**$260.732**
CEE (Costo Anual. Equiv. En)	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952
Costos Variables (CVO)	**$202.052**	**$79.842**	**$30.054**	**$16.128**	**$9.288**	**$4.848**	**$1.636**	**$552**	**$179**	**$100**
Costos Totales	**$227.497**	**$108.699**	**$67.523**	**$62.923**	**$64.552**	**$70.145**	**$94.909**	**$131.794**	**$200.831**	**$260.832**

TABLA 11a. Diámetro óptimo del principal para paltos.

PRINCIPAL DE MICROASPERCION

Datos	
Vida Util (años)	18
Caudal (l / s)	8,73
Interes Anual (i)	18
Eficiencia de la bomba (Eb)	0,60
Costo de Energía (Cc)	63
FEE (Factor de Costo Equiv. de Energía)	1,60
Tasa de Incremento de Energía (9 %)	9
PPUC (Pot. Generada por Un. Combust.)	1,20
FRC (Factor de Recuper. de Capital)	0,19
Número de Horas de Operación por año (To)	3360

Cálculo Diámetro Optimo CLASE 4

Diámetros Tuberías Comerciales (mm)	75	90	110	125	140	160	200	250	315	355
Diámetro Interior (mts)	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,19	0,24	0,30	0,34
Pérdida de Carga cada 100 mts.	5,84	2,31	0,87	0,47	0,27	0,14	0,05	0,02	0,01	0,00
Costo de instalación de 100 mts.	$134.178	$152.168	$197.584	$246.756	$291.416	$344.323	$491.844	$692.059	$1.058.075	$1.374.884
CF (Costo Fijo Anualizado)	**$25.446**	**$28.857**	**$37.470**	**$46.795**	**$55.264**	**$65.297**	**$93.273**	**$131.242**	**$200.653**	**$260.732**
CEE (Costo Anual. Equiv. En)	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952	$470.952
Costos Variables (CVO)	**$235.307**	**$92.984**	**$35.000**	**$18.783**	**$10.817**	**$5.646**	**$1.905**	**$643**	**$208**	**$116**
Costos Totales	**$260.753**	**$121.841**	**$72.470**	**$65.577**	**$66.081**	**$70.943**	**$95.178**	**$131.884**	**$200.861**	**$260.849**