



UNIVERSIDAD CATOLICA DE TEMUCO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
FORESTALES DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus*
globulus Labill SOMETIDOS A TRES SISTEMAS DE RIEGO: SURCO,
MICROASPERSIÓN Y GOTEO EN EL VALLE CENTRAL DE LA VIII REGIÓN
(MULCHÉN).**

Tesis presentada como parte
de los requisitos para optar
al título de:

INGENIERO FORESTAL

Profesor guía: Francisco Montoya S.

PEDRO JAVIER GAJARDO GAJARDO

TEMUCO – CHILE

2005

CALIFICACIÓN COMISIÓN INFORMANTE

		Nota
Profesor patrocinante	: Francisco J. Montoya Stuardo	<u>6.5</u>
Profesor informante	: Leovijildo R. Medina Medina	<u>6.2</u>
Profesor informante	: Emilio A. Guerra Bugueño	<u>6.5</u>

Profesor patrocinante
Francisco J. Montoya Stuardo
Ingeniero forestal

Profesor copatrocinante
Leovigildo R. Medina Medina
Ingeniero agrónomo

Profesor informante
Emilio A. Guerra Bugueño
Ingeniero forestal
Secretario académico

Director de Carrera

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa de mi vida quisiera expresar mis agradecimientos a muchas personas que con su apoyo incondicional lograron ser fuente de inspiración y fortaleza:

Especialmente a mi madre que en todo momento estuvo presente, a la Pía que representa un apoyo y una entrega incondicional. A Eduardo quien ha sido un guía y un padre, que siempre mantuvo la confianza y apoyo necesario, a mi tío Peyo que siempre a estado a mi lado, a mi tío Mauricio por su aporte en conocimientos para el desarrollo de esta tesis y a mis hermanos por su cariño siempre presente.

A mi polola Fabiola que me acompañado y ayudado en casi toda mi formación profesional, la cual además es fuente de admiración y fortaleza.

Por otro lado aquellos amigos que incondicionalmente han estado en todo este proceso.

A mis profesores Francisco Montoya, Emilio Guerra, Gonzalo Puentes y Don Leovigildo Medina por su apoyo y dedicación para que este trabajo saliera adelante. También a Gloria la secretaria de la escuela por su excelente disposición y eficiencia en todo lo que se le necesito. No puedo dejar de lado a las empresas Agrosystems y Multicomercial Temuco por la disposición de entregar la información necesaria para el desarrollo de este estudio.

INDICE DE MATERIAS

Capitulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	01
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	03
2.1	El agua en el suelo	03
2.2	Estado energético del agua en el suelo	09
2.3	Movimiento del agua en el suelo	12
2.4	Requerimientos hídricos de los vegetales	13
2.5	Estrés hídrico	15
2.6	EL riego	16
2.6.1	Sistemas de riego	17
2.6.1.1	Riego por surco bajo conducción californiana	18
2.6.1.2	Riego por microaspersión	25
2.6.1.3	Riego por goteo	29
2.6.2	Eficiencia en los sistemas de riego	32
2.7	Antecedentes de <i>E. globulus</i>	34
2.8	Riego en plantaciones forestales	34
3	MATERIAL Y METODO	37
3.1	Materiales	37
3.1.1	Preparación del suelo	37
3.1.2	Plantación	37
3.1.3	Control de maleza	37
3.1.4	Fertilización	38
3.1.5	Instalación de sistemas de riego	38
3.1.6	Velocidad de infiltración	41
3.1.7	Determinación de curva hídrica	42
3.1.8	Medición de densidad aparente	42
3.1.9	Mediciones dendrométricas	42

3.2	Metodología	43
3.2.1	Descripción del área de estudio	43
3.2.2	Suelo	44
3.2.4	Descripción y diseño del ensayo	48
3.2.5	Parcelas experimentales	52
3.2.6	Metodología a emplear para alcanzar cada uno de los objetivos del estudio	53
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1	Descripción climática del lugar de estudio	58
4.2	Caracterización físico-hídrica del lugar de estudio	60
4.2.1	Velocidad de infiltración correspondiente a cada tratamiento	63
4.3	Análisis estadístico	66
4.3.1	Diámetro a la altura del cuello (DAC)	66
4.3.2	Altura Total (HT)	69
4.3.3	Índice de biomasa (IBIO)	72
4.4	Análisis de costos para cada sistema de riego	77
4.5	Evaluación de los sistemas de riego por sus resultados en crecimiento, costos y por sus características	84
5	CONCLUSIONES	89
6	RESUMEN	91
7	SUMARY	93
8	BIBLIOGRAFÍA	95
9	ANEXO 1	99
	ANEXO 2	102
	ANEXO 3	106

INDICE DE CUADROS

Cuadro Nº	<u>En el texto</u>	Página
1	Capacidad de infiltración según tipo de suelo	8
2	Propiedades físicas del suelo	12
3	Métodos de riego y uso de energía	17
4	Largos máximos de surco según diferentes suelos	22
5	Métodos de riego y su eficiencia en aplicación	33
6	Descripción de eficiencia, caudales y tiempos de riego necesarios para la realización del ensayo	48
7	Cantidad de agua aplicada mensual y por temporada según Eb (mm) el 2004	49
8	Antecedentes generales del lugar de estudio	51
9	Parámetros climáticos del lugar de estudio desde septiembre 2003 hasta agosto del 2004	58
10	Características físico-hídricas del lugar de estudio	61
11	Resumen estadístico de la variable DAC	66
12	Resumen estadístico de la variable HT	69
13	Resumen estadístico de la variable IBIO	72
14	Presupuesto para riego por microaspersión para 1 ha. de riego	78
15	Presupuesto para riego por surco con sistema californiano para 2 ha. de riego	79
16	Presupuesto para riego por goteo para 1 ha. de riego	81
17	Costo por ha. según superficie para riego por goteo en cuanto a equipos de riego	83

18	Evaluación de los sistemas de riego por sus resultados en crecimiento de las plantas, costos y características propias de cada sistema	84
19	Criterio de ponderación para el crecimiento en m ³ /ha. y costos de instalación para cada sistema	85
20	Criterio de ponderación para la eficiencia de cada sistema	85
21	Criterio de ponderación frente a consideraciones mas relevantes	86
22	Evaluación de los sistemas de riego en base a los criterios de ponderación antes planteados	87

En el anexo 2

23	Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros en el sector del T1	103
24	Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros en el sector del T2	104
25	Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros en el sector del T3	105

En el anexo 3

26	Presupuesto de materiales para riego por microaspersión realizado por Multicomercial Temuco Ltda.	106
----	---	-----

27	Presupuesto de materiales para riego por surco bajo conducción californiana realizado por Multicomercial Temuco Ltda.	107
28	Presupuesto de materiales para riego por goteo realizado por Multicomercial Temuco Ltda.	108
29	Presupuesto de materiales para riego por goteo para 20 ha. realizado por la empresa Agrosystems S.A.	109
30	Presupuesto de materiales para riego por goteo para 30 ha. realizado por la empresa Agrosystems S.A.	111

INDICE DE FIGURAS

Figura Nº	En el texto	Página
1	Velocidad de infiltración según la textura del suelo	7
2	Curva de retención de humedad según la textura del suelo	11
3	Evaporímetro clase A	14
4	Tiempo de oportunidad definido a través de la curva de avance y recesión	19
5	Movimiento del agua en el surco según textura del suelo	20
6	Movimiento del agua desde el gotero a lo largo del perfil del suelo	30
7	Croquis de los sistemas de riego presente en el lugar de estudio	40
8	Mapa de ubicación del área de estudio	43
9	Representación de los estratos	45
10	Fotografía de la calicata, fundo Casas Quemadas	47
11	Fotografía del ensayo correspondiente a cada tratamiento	50
12	Distribución de las parcelas en el lugar de estudio	52
13	Diagrama parcela experimental	52
14	Esquematización de la metodología para alcanzar cada objetivo	53
15	Gráfico de temperatura y precipitación del lugar de estudio	59
16	Representación gráfica del intervalo de humedad de humedad disponible (IHD)	62

17	Representación gráfica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T1 (microaspersión) realizada en mayo del 2004	63
18	Representación gráfica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T2 (surco con conducción californiana) realizada en mayo del 2004	64
19	Representación gráfica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T3 (goteo) realizada en mayo del 2004	65
20	Gráfico de medias de la variable DAC	67
21	Gráfico de medias de la variable HT	70
22	Gráfico de medias de la variable IBIO	73
23	Gráfico que muestra los crecimientos incrementales de biomasa mes a mes durante el período de evaluación	75

En el anexo 2

24	Curva de retención de humedad del lugar de estudio	102
----	--	-----

1 INTRODUCCIÓN

La respuesta en crecimiento que ha tenido *E. globulus* incentivado por un régimen hídrico, ha sido motivo de varios estudios tanto en Chile como el extranjero, en donde el riego ha sido una herramienta fundamental para el establecimiento y crecimiento de las plantas. Pero queda averiguar dentro de otras cosas qué tipo de tecnología de riego son aplicables para un cultivo forestal, de manera de mejorar la productividad y la rentabilidad. Además, si consideramos que las empresas forestales están invirtiendo hoy en día en suelos agrícolas, los cuales se encuentran dentro de un radio de 100 Km. de las plantas de celulosa y que además éstos presentan infraestructura de riego y derechos de aprovechamiento de agua (Gurovich, *et al.*, 1996), hace necesario encontrar respuestas a dicha inquietud y aprovechar aquellas infraestructuras, llegando a emplear tecnologías de riego que se utilizan actualmente en la agricultura, como es el caso de los cultivos de frutales que han logrado excelentes resultados en su producción con una rentabilidad que justifica las inversiones hechas en tecnología para el riego.

El presente documento de tesis pretende investigar y dar a conocer que los sistemas de riego como microaspersión, surco con conducción californiana y goteo bajo las mismas condiciones edafoclimáticas tendrán incidencia en el crecimiento en biomasa de *E. globulus* y que los costos implicados a cada sistema incidirán en el método de riego a utilizar.

Para resolver dicha hipótesis se desarrollaron una serie de objetivos de manera de evaluar el efecto en crecimiento de esta especie por medio de las variables diámetro a la altura del cuello (cm.), altura total (m) e indicador de biomasa D^2*H (cm³) en el primer periodo de crecimiento, también una caracterización fisicohídrica del lugar de estudio y un análisis de costos para cada sistema de riego, para posteriormente llegar a integrar factores tanto ambientales como económicos al momento de decidir qué método de riego es el más recomendable.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El Agua en el Suelo

Los principales factores propios del árbol que afectan la absorción del agua desde el suelo son el potencial hídrico de la planta, su tasa de transpiración y la extensión y eficiencia de su sistema radical. Por otra parte influyen también los factores ambientales climáticos como temperatura, humedad del aire, velocidad y turbulencia del viento, y otros factores propios del suelo, que tienen relación con el potencial hídrico (Donoso, 1992).

En el suelo todos los procesos ecológicos son importantes, pero el agua que se encuentra en el suelo, específicamente aquella que las raíces de las plantas son capaces de utilizar, es la que tiene mayor importancia (Donoso, 1992). Por lo que Pizarro (1996) menciona que el agua es el principal componente de las plantas, en algunos de cuyos órganos representa más del 90% en peso. Actúa como disolvente y medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es asimismo un reactivo de procesos fundamentales, como la fotosíntesis.

La capacidad del suelo para almacenar agua depende dentro de sus propiedades físicas básicamente de características como, textura, estructura, densidad aparente, densidad real, pedregosidad, porosidad entre otras (Simpfendörfer, 1996).

La descripción de las propiedades físicas básicas del suelo se describen a continuación:

- **La textura del suelo:** Se refiere al tamaño y distribución de las partículas de minerales del suelo y se expresa en relación a los porcentajes de arena, limo y arcilla (Simpfendörfer, 1996). Esta propiedad física de los suelos, influencia el contenido de agua porque de ella depende la retención, el escurrimiento, la infiltración, drenaje y la permeabilidad (Honorato, 2000).

- **La estructura del suelo:** Corresponde a la forma a como se disponen o agrupan en agregados mayores o terrones (Donoso, 1992). Dependiendo de la disposición de dichas partículas será la infiltración del agua en el suelo y es así como estructuras granulares tienen una rápida infiltración, la que disminuye en estructuras bloquiformes, y es muy lenta en las laminares.

- **La densidad aparente:** Expresa la relación entre la masa de partículas del suelo después que han sido secadas y el volumen total del suelo, incluye las partículas y los poros conjunto (Gurovich, 1997). Donoso (1992) menciona que la densidad aparente es un buen indicador de ciertas características del suelo, al saber porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración.

$$Dap = \frac{\text{Masa de Sólidos (gr)}}{\text{Volumen de Sólidos (m}^3\text{)}} \quad (2.1)$$

- **La porosidad:** Es el porcentaje de espacio poroso que existe en un suelo, o el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos (Donoso, 1992). A mayor porosidad, mayor capacidad de almacenamiento de agua (Honorato, 2000). La porosidad se puede calcular conociendo la densidad real o de las partículas sólidas del suelo, y la densidad aparente, que considera también el espacio de poros (Donoso, 1992).

Por otro lado el suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida se compone de partículas minerales y orgánicas. El espacio no ocupado por la fase sólida constituye el espacio poroso del suelo que es ocupado por las fases líquida y gaseosa (Salgado, 2001).

Dentro de la fase líquida del suelo el agua está presente de las siguientes formas:

- **Agua Gravitacional:** Es el agua drenada a través de los macroporos por efecto de la fuerza de gravedad y que va alimentar a las napas freáticas. Especies que poseen raíces profundas y bien desarrolladas están en condiciones óptimas para aprovechar el máximo de agua gravitacional (Donoso, 1992).

- **Agua Capilar:** Es aquella que es retenida en los poros por la tensión superficial y entre las partículas (Vipond y Withers, 1986). El agua capilar es la clase de agua más importante en el suelo, porque constituye la fuente de casi toda el agua que ocupan las plantas (Donoso, 1992).

- **Higroscópica:** Esta agua se retiene en la forma de películas delgadas en torno a las partículas de la tierra, en forma tan firme que no se encuentra a disposición de las plantas, excepto, quizá, en los casos extremos de sequía (Vipond y Withers, 1986).

Respecto a la humedad del suelo se debe tener conocimiento de los siguientes términos y constantes:

- **Suelo Saturado:** Cuando sus poros están ocupados por agua. Esto se presenta después de una lluvia copiosa o de un riego abundante o cuando existe una estrato impermeable a poca profundidad (Simpfendorfer, 1996).

- **Capacidad de Campo (CC):** La cantidad de agua que puede retener un suelo después que el agua gravitacional ha sido drenada, bajo una succión de 1/3 de bar. Los factores que influyen en la capacidad de campo son la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y la profundidad del suelo respecto a la napa freática (Donoso, 1992).

- **Punto de Marchitez Permanente (PMP):** Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 10 y 15 bar. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta (Comisión Nacional de Riego, febrero 1998).

- **Infiltración:** Es el flujo de agua de la superficie del suelo hacia abajo, primero en la zona de las raíces, y después en el subsuelo (Berlijn, 1997). Si toda la superficie esta mojada, el flujo de agua será solo en dirección vertical, mientras que en caso de mojadura parcial, se combinarán los movimientos vertical y lateral, pudiendo ser este último tan importante como el primero (Artigao y Guardado, 1993).

- **Velocidad de infiltración:** Se define por Simpfendörfer (1996) como la velocidad de penetración vertical de agua en el perfil del suelo. Según Tondreau y Tosso (1975) los factores más importantes que influyen la velocidad de infiltración son el sellamiento superficial, compactación del suelo, partículas o grietas en suelo, preparación del suelo, materia orgánica y rotación de cultivos, sales del suelo, sedimentos en el agua de riego y perfil del suelo.

La siguiente figura muestra la velocidad de infiltración según la textura del suelo.

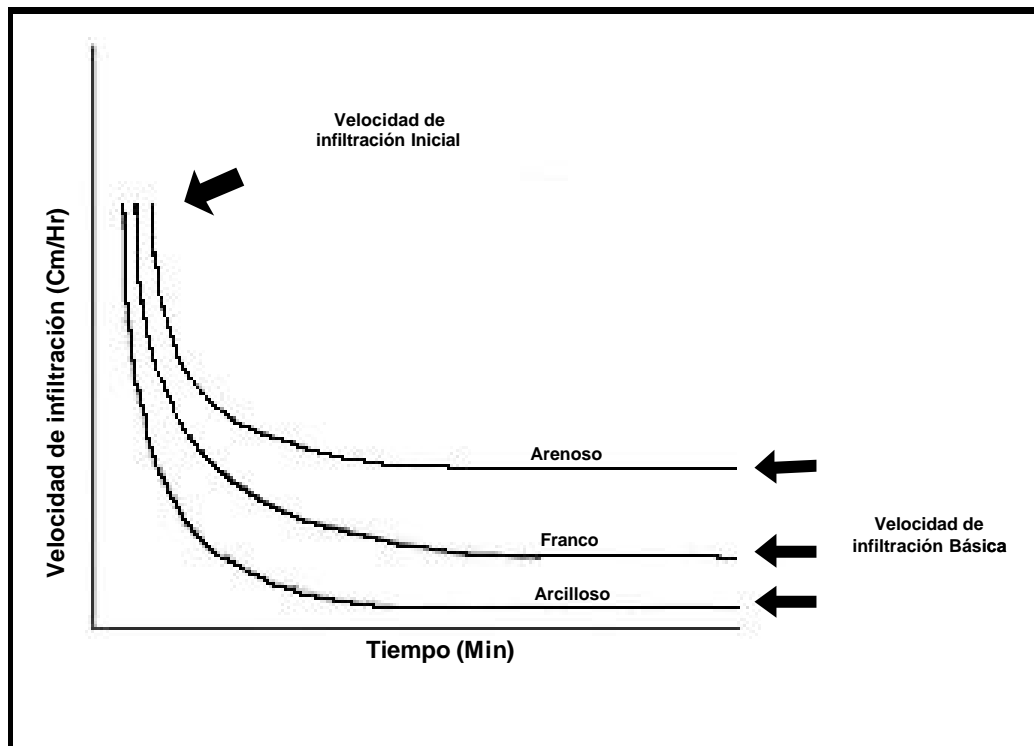


FIGURA 1: Velocidad de infiltración según textura del suelo.

FUENTE: citado por diplomado de establecimiento de plantaciones forestales NeoBosques 2003.

El siguiente cuadro muestra el cambio de la capacidad de infiltración del agua según el tipo de suelo.

CUADRO 1: Capacidad de infiltración según tipo de suelo

Tipo de suelo	Capacidad de infiltración de agua (m/hora)
Arenoso	20
Arenoso – Limoso	15
Limoso – Arenoso	12
Limoso	10
Arcilloso	8

FUENTE: Handy Data for the Sprinkling Export, Perrot, citado por CIREN 111 (1996).

- **Intervalo de Humedad Disponible (IHD):** Parte de agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas que viven sobre el suelo. (Artigao y Guardado, 1993). La cual se calcula con la siguiente formula.

$$IHD = CC - PMP \quad (2.2)$$

Donde: IHD = Intervalo de humedad disponible (%)

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

- **Reserva del Suelo (R):** Cantidad de agua disponible, con relación al IHD. Depende del tipo de suelo u horizonte del suelo, de la profundidad del suelo, de la densidad aparente y de la CC y del PMP (Artigao y Guardado, 1993). Se puede calcular usando la siguiente expresión:

$$R = 10^2 * P * D * IHD \quad (2.3)$$

Donde: R = reserva (m³/ha).

P = profundidad (m).

D = densidad aparente (gr/cm³).

IHD = intervalo de humedad disponible (% gravimétrico).

2.2 Estado energético del agua en el suelo

Los fenómenos en que está involucrada el agua del suelo envuelven relaciones entre el contenido de agua, su estado energético y los procesos de gradientes energéticas.

Por lo que menciona Honorato (1994) las relaciones suelo-agua pueden entenderse desde el punto de vista energético:

- La retención y movimiento de agua en el suelo, la absorción y el transporte en la planta y hacia la atmósfera son todos fenómenos relacionados con la energía.

- El estado de energía del agua se denomina energía libre; en esta condición toda la energía es utilizada en la unión de una molécula con otra. Por lo tanto, al

existir una atracción electrostática con iones con superficies sólidas, el nivel de energía del agua del suelo va a ser inferior.

- El nivel de energía en una sustancia es una indicación de la tendencia de ella al cambio.
- El agua existe en el suelo en un amplio rango de valores energéticos.
- Estos valores energéticos pueden expresarse en términos de presión (valores negativos) o, tensión o succión de agua (valores positivos).
- El potencial de agua del suelo es una medida de la disminución de la energía libre del agua en el suelo como resultado de las fuerzas que actúan sobre ellas.

En un suelo no saturado, para remover agua debe haber un gasto de energía, en consecuencia el potencial del agua tiene signo negativo. El gradiente de potencial, es decir, la forma como éste cambia en una distancia, es la "fuerza motriz" causante del movimiento del agua en el suelo. Así el agua se moverá en el sentido de mayor a menor potencial (Salgado, 2001).

La cantidad de agua que permanece en el suelo en el equilibrio a una succión determinada, está determinada por los tamaños y los volúmenes de los poros llenos de agua y por lo tanto, es función de la succión matricial. La relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y el potencial o energía con que está retenida esa humedad, se llama curva de desorción o retención de humedad (Gurovich, 1997).

La siguiente figura muestra la curva de retención de humedad según la textura del suelo.

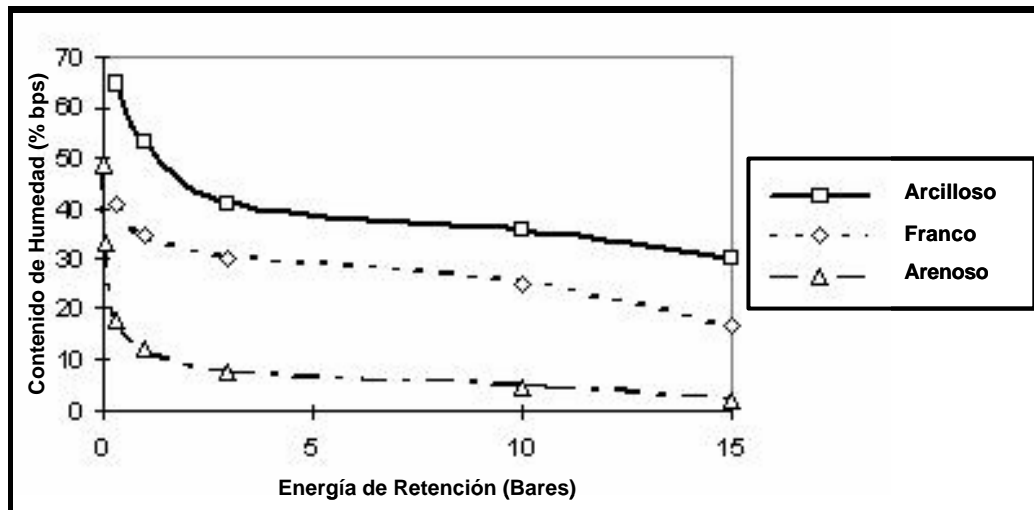


FIGURA 2: Curva de retención de humedad según textura del suelo.

FUENTE: Jara. J. y Valenzuela. A. 1998.

Tal como se aprecia en la figura 2, los contenidos de humedad del suelo a una misma energía de retención son diferentes según textura y si se observa el cuadro 2, este muestra en forma mas completa de cómo cambian los valores de propiedades físicas como CC, PMP y densidad aparente según la textura del suelo.

CUADRO 2: Propiedades físicas del suelo

Textura del suelo	Densidad aparente (gr/cc)	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente
Arenoso	1.55 – 1.80	6 – 12	2 – 6
Franco - arenoso	1.40 – 1.60	10 – 18	4 – 8
Franco	1.35 – 1.50	18 – 26	8 – 12
Franco – arcilloso	1.30. – 1.40	23 – 31	11 – 15
Arcilloso – arenoso	1.25 – 1.35	27 – 35	13 – 17
Arcilloso	1.20 – 1.30	31 - 39	15 - 19

FUENTE: Luis Salgado (1984), citado por CIREN 111 (1996).

2.3 Movimiento del Agua en el Suelo

El agua se mueve por diferencias de potenciales entre los puntos en que se produce ese movimiento, de tal manera que siempre fluye de mayor a menor potencial (Artigao y Guardado, 1993). Las fuerzas que originan este movimiento son por gravedad, ósmosis y capilaridad.

Estos movimientos se dividen en flujo saturado cuando es por gravedad a succiones menores a 1/3 de bar y flujo no saturado ocurre cuando el agua tiene succiones mayores a 1/3 de bar donde actúan otras fuerzas a parte de la gravitacional (Donahue et. al, 1987).

El flujo saturado esta condicionado por la fuerza hidráulica que conduce el agua a través del suelo y la conductividad hidráulica con que el suelo permite este movimiento, donde ésta depende de las características del sistema poroso, siendo los macroporos los responsables de la mayor parte del flujo saturado (Honorato,1994).

El flujo no saturado es mas frecuente en condiciones de campo, participando fuerzas como capilaridad y tensión superficial. La conductividad hidráulica variaría a medida que disminuye el contenido de humedad del suelo, siendo esta mayor en suelos arenosos que en suelos arcillosos a bajos niveles de tensión (Honorato, 1994).

2.4 Requerimientos Hídricos de los Vegetales

La cantidad de agua removida desde el suelo a la planta se denomina evapotranspiración. Esta agua, debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta (Comisión Nacional de Riego, febrero 1998). Fuentes (1996) menciona que los factores que condicionan la evapotranspiración se pueden agrupar de la siguiente forma:

- Condiciones dependientes del suelo, entre los que destacan su capacidad de retención de agua. En suelos que retienen gran cantidad de agua, la evapotranspiración es más intensa que en los que retienen menos cantidad.
- Naturaleza de la vegetación. Las plantas que tienen muchas hojas transpiran más cantidad de agua que aquellas otras que tienen poco follaje.
- La fase vegetativa en que se encuentra un cultivo. En las plantas poco desarrolladas la mayor parte del agua se pierde por evaporación del suelo, pero a medida que el cultivo se desarrolla aumenta la transpiración y disminuye la evaporación, debido a que aumenta el volumen de follaje y éste sombrea la superficie del suelo.
- Condiciones meteorológicas. La insolación fuerte, las temperaturas elevadas, la sequedad del ambiente y el viento son condiciones meteorológicas que favorecen la evapotranspiración.

Una de las formas para cuantificar el requerimiento hídrico de las plantas es por medio de los evaporímetros de cubeta, el más utilizado es el llamado clase A (Figura 3). Tiene forma circular de 122 centímetros de diámetro interior y de 25 centímetros de profundidad, la estructura es de hierro galvanizado, se sitúa sobre una plataforma de madera de 15 centímetros sobre el suelo a campo abierto, de preferencia en donde no exista cultivo a su alrededor, la altura de agua evaporada se mide mediante un micrómetro situado en el interior del depósito (Fuentes, 1996).

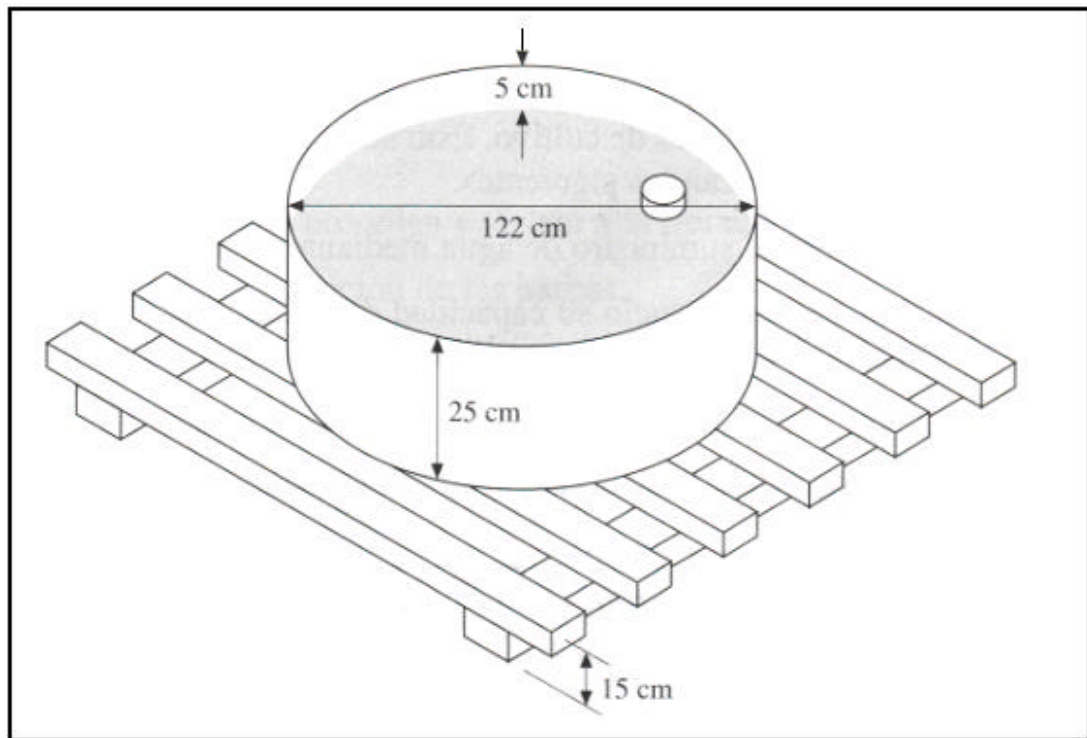


FIGURA 3: Evaporímetro clase A

La ventaja del método de la bandeja, es que integra muy bien los parámetros climáticos (temperatura, radiación, viento, humedad relativa, etc.)

2.5 Estrés Hídrico

Cuando el contenido de humedad disminuye, o incrementa el déficit hídrico, se alcanza un nivel que afecta negativamente los procesos fisiológicos, y el árbol experimenta un estrés hídrico (Teskey y Hinckley, 1986).

A nivel fisiológico y celular Ross y Salisbury (1994) plantean que el crecimiento celular, depende de la absorción del agua por las células, el cual es uno de los primeros que se ven afectados por el estrés hídrico, lo que reduce el rendimiento vegetal, en aquellos procesos como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y paredes celulares. Además el estrés hídrico ocasiona el cierre de los estomas y restringe la captación de CO_2 , al punto de causar efectos sobre las enzimas, donde el ácido abscísico (ABA) empieza a aumentar de manera notable (por lo menos 40 veces) en los tejidos de las hojas y en menor grado en otros tejidos.

Los efectos del estrés hídrico más visible son las reducciones del tamaño de la planta y superficie foliar, y la caída del rendimiento cuantitativo (Valero y De Santa Olalla Mañas, 1993)

Cada vez se está dando mayor importancia a los indicadores de estrés hídrico, como unos parámetros básicos en el manejo del riego, concretamente para decidir la frecuencia y dosis del mismo. El riego es una excelente técnica para aliviar el estrés hídrico y sus efectos en el crecimiento de las plantas, supliendo en forma artificial el déficit hídrico.

2.6 El Riego

La práctica del riego consiste esencialmente en aprovechar la capacidad de retención del suelo para almacenar en forma periódica, el agua que las plantas van utilizando de manera continuada (Peralta, 1990).

El riego tiene por objetivo básico reponer el déficit de humedad producto de un desbalance entre la evapotranspiración de los cultivos y la precipitación (Holzapfel, 1993).

El riego que se aplique a la plantación debe ser balanceado considerando todos los factores que determinen ingresos y pérdidas de agua, por ejemplo la capacidad de extracción de agua del árbol, evaporación, estado de desarrollo de la plantación (Cisterna, 1999).

Según José Miguel Peralta (Chile Riego, N° 11, 2002), la aplicación del agua al suelo se realiza a través de métodos de riego, los cuales en primera instancia se pueden diferenciar según el tipo de energía utilizada, identificándose dos grandes grupos: a) "Riego Superficial"; que utiliza energía gravitacional y el agua es conducida por conductos abiertos, y b) "Riego Presurizado"; caracterizado en general por la utilización de energía externa en el sistema, permitiendo que el agua sea conducida a presión por conductos cerrados hasta sector de riego.

CUADRO 3: Métodos de riego y uso de energía.

Método de riego	Uso de energía	
	Gravitacional	Externa
Tendido	X	
Surco	X	
Borde	X	
Tazas	X	
Aspersión		X
Microaspersión		X
Goteo		X

FUENTE: Chile Riego, N° 12, Noviembre de 2002.

2.6.1 Sistemas de riego

Berlijn (1997) plantea que los sistemas o métodos de riego se refieren a las distintas formas de aplicar el agua sobre cultivo, que viene condicionado por varios factores como lo son:

- La pendiente del terreno.
- La capacidad del suelo para retener el agua.
- La permeabilidad de suelo.
- El suministro de agua.
- La inversión y el costo de mantenimiento.
- La disponibilidad de mano de obra, etc.

Para cada caso particular se debe elegir, el método de riego que permita suministrar al cultivo la suficiente cantidad de agua para satisfacer sus necesidades, sin que se produzca desperdicio de agua ni cause deterioro al suelo (Fuentes, 1996).

En base a lo planteado anteriormente Fuentes (1996) menciona que los sistemas de riego que han alcanzado una mayor difusión son:

- **Riego por gravedad o superficie:** El agua que llega a la parcela utiliza únicamente la acción de gravedad para su distribución, aprovechando la superficie del suelo para esta distribución. Destaca aquí, el Riego por Surcos con Aplicación Californiana,

- **Riego presurizado:** El agua se distribuye a presión mediante un sistema de tuberías en donde se instalan los emisores. En el riego por aspersión existe una presión relativamente grande que produce chorros de agua a gran velocidad. En cambio, en el riego localizado, la presión es reducida y los orificios de salida sólo permiten un gasto muy pequeño de agua. Del riego localizado destacan aquí, el Riego por Goteo y el Riego por Microaspersión.

2.6.1.1 Riego por Surco bajo Conducción Californiana

El sistema de riego por surcos con conducción californiana, consiste básicamente de una tubería cabecera de conducción subterránea en la cual el agua es llevada desde el punto extracción hasta el punto de aplicación del riego, allí es incorporada a los surcos por tubos elevadores y aplicada de forma uniforme por medio de campanas de distribución (INIA, 2001).

El agua en el surco debe humedecer lo más uniforme posible un volumen de suelo que abarque toda la longitud del surco, un ancho igual a la distancia entre dos surcos consecutivos y la profundidad exigida por las raíces. Se debe tener en cuenta que el proceso de infiltración es mayor en la cabecera del surco que al final de este, lo que se explica por el mayor tiempo de riego en una y otra parte (Holzapfel, 1993).

Por otra parte Gurovich (1997) plantea que el tiempo de riego mostrado puede ser dividido en cuatro fases: la fase de avance, que comienza cuando el agua ingresa al surco y termina cuando el frente de avance llega al extremo final del surco. La fase de almacenamiento superficial empieza cuando el agua comienza a salir al final del surco por escurrimiento superficial, terminando cuando se interrumpe el caudal de entrada de agua del surco. En ese momento comienza la tercera fase de retardo de la recesión, que finaliza cuando la lámina de agua sobre la superficie al comienzo del surco desaparece por el efecto de la infiltración y del flujo superficial que ocurre simultáneamente en el suelo, esta generalmente es una fase de muy corta duración. Una vez completada la tercera fase, comienza la fase de recesión, que termina cuando el surco no presenta agua libre en ningún punto de su superficie, lo cual queda representado en la figura 4.

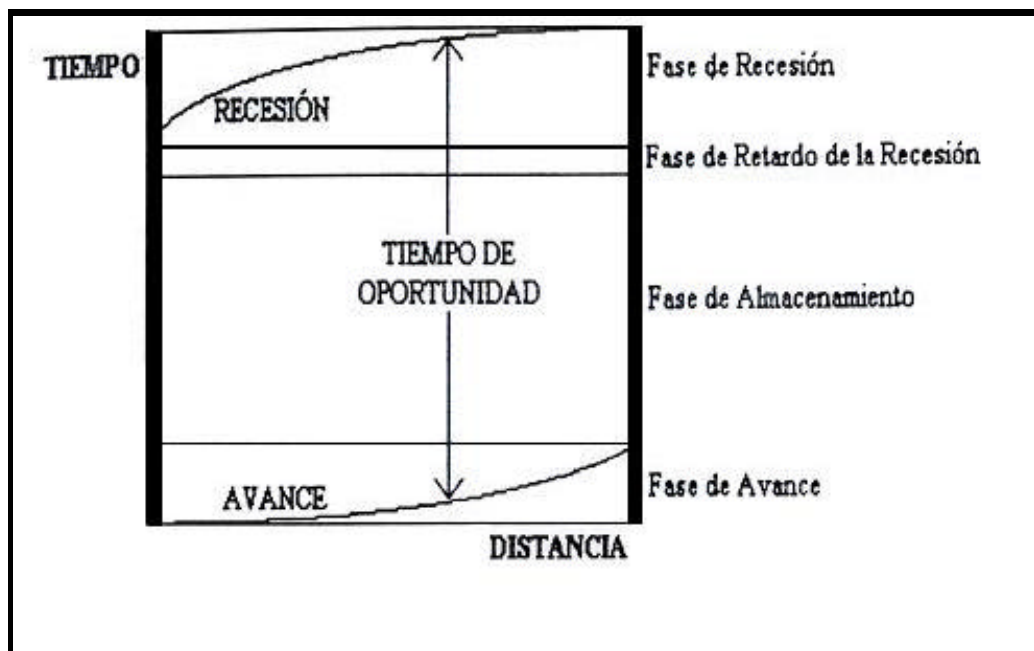


FIGURA 4: Tiempo de oportunidad definido a través de las curvas de avance y recesión.

FUENTE: Luis Gurovich Z.; 1997.

La siguiente figura muestra el movimiento de agua a partir de un surco de riego, según su textura de suelo.

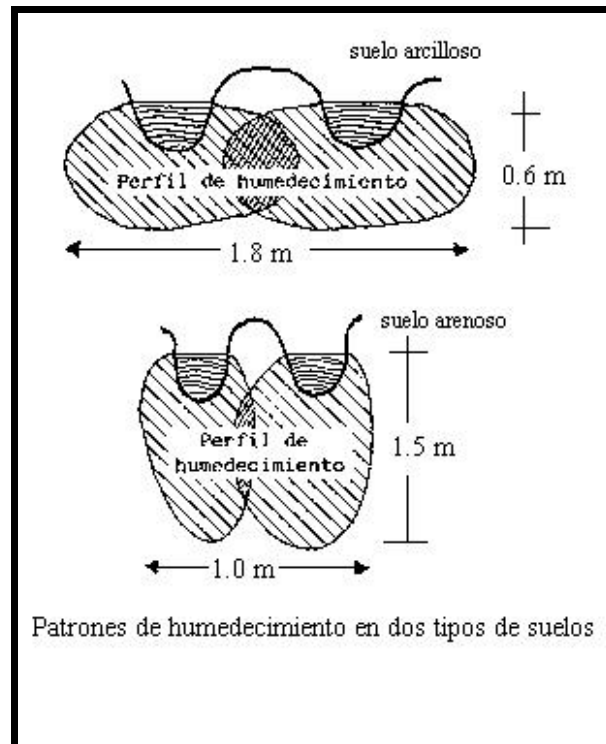


FIGURA 5: Movimiento de agua en el surco según textura del suelo.

FUENTE: www.chillan.udec.cl-extensionfia-Publicaciones-cartillas-surco2_JPG_archivos/surcos.htm

La pendiente del perfil de mojado en suelos homogéneos es función directa de la velocidad del frente de avance, la que tiende a disminuir durante el transcurso del riego, debido a que en los puntos sucesivos a la entrada de agua al perfil, el caudal es inferior al que ingresa al surco, producto de la infiltración de parte del caudal de entrada en el tramo anterior (Gurovich, 1997).

La cantidad de agua que llega a la zona de raíces, depende de la velocidad o rapidez con que el agua corre a lo largo de todo el surco. Por eso la velocidad del agua es un factor importante que se debe saber manejar en el riego por surcos.

El diseño de un riego por surco debe contemplar los siguientes aspectos (INIA, 2001):

- Espaciamientos entre surcos
- Forma de surcos
- Caudal a aplicar
- Tiempo de riego

El espaciamiento entre surco depende del tipo de suelo, el cultivo y la maquinaria a utilizar (INIA, 1993).

La forma del surco es importante, debiendo ser más ancho en suelos que presentan una baja velocidad de infiltración, de modo de incrementar el periodo mojado y aumentar la superficie de contacto agua-suelo, facilitando la penetración del agua al suelo (INIA, 2001).

Por lo que plantea el documento INIA (1991) el largo del surco va depender del tipo de suelo, la pendiente del sector y la cantidad de agua a aplicar:

- En suelos arcillosos los surcos pueden ser más largos que en arenosos.
- En los sectores más parejos pueden ser más largos que en sectores con desnivel.
- Si la cantidad de agua a aplicar es alta los surcos pueden ser más largos.

Como regla general se aconseja hacer los surcos tan largos como sea posible, a condición que no se produzca erosión del suelo y haya una eficiencia de riego razonable (Fuentes, 1996).

El siguiente cuadro muestra las longitudes máximas de surcos para diferentes suelos, pendientes y profundidades de agua.

CUADRO 4: Largos máximos de surco según diferentes suelos.

Pendiente (%)	Arcillas				Limos				Arenas			
	Profundidad media de agua aplicada (cm)											
	7.5	15	22.5	30	5	10	15	20	5	7.5	10	12.5
0.05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0.10	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220
0.20	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
0.30	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
0.50	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
1.00	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
1.50	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
2.00	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190

FUENTE: El riego superficial, L.J. Booher, FAO, citado por CIREN 111 (1996).

Por lo que plantea el manual de obras de riego Barrientos (2000) los componentes del sistema de riego californiano son los siguientes:

- *Decantador:* Consiste en un ensanchamiento de un tramo del canal de entrega con el fin de disminuir la velocidad del agua y producir la sedimentación de arenas antes de la entrada del agua a la cámara de entrada.
- *Cámara de entrada:* Es la obra de inicio del sistema californiano, se construye de albañilería de ladrillo estucado, con un desnivel de 30 cm. con respecto a la base del tubo principal, tiene un sistema de compuerta y mallas para impedir el ingreso de basura.
- *Tuberías:* Las cuales permiten conducir el agua desde la fuente hídrica (canal, embalse, etc.) hasta el terreno a regar y distribuir dicha agua en los potreros, entregándolas a los surcos.
- *Elevadores:* Son trozos de tubo de PVC, conectados a la tubería principal mediante un anillo de goma (goma agrícola).

- *Válvulas de huerto*: Estas permiten regular el caudal de entrega a los surcos. Estas consisten básicamente en una tapa rosca, con la capacidad de regular el flujo de toda la gama entre 0 y 100% del caudal máximo por elevador.
- *Campana de distribución*: Es un accesorio destinado a amortiguar la energía que trae el agua, evitando la erosión del suelo y orienta el flujo hacia los surcos de riego. Consiste en un cilindro corto de PVC de 200 mm de diámetro, con cuatro salidas alrededor de la base del mismo. La campana se une al tubo elevador mediante presión. En el centro de campana se ubica la válvula de huerto.

Ventajas de este sistema de riego:

- Este sistema de riego permite obtener eficiencia de aplicación de agua de un 65%, mediante métodos de riego tradicionales, al sustituir las acequias de conducción y distribución.
- Las plantas, por estar sembradas sobre el camellón, no se mojan, con lo que se evitan ciertas enfermedades.
- Por utilizar una conducción cerrada, evita el crecimiento de malezas en la cabecera de riego, de los huertos y cultivos.
- Este tipo de riego no interrumpe las demás labores del cultivo.
- Necesita sólo el 25 a 50% del trabajo humano requerido por los procedimientos de riego más tradicionales (sifones, acequias con tubos a nivel, mangas, etc.), ahorrándose tiempo y mano de obra.
- Es un sistema de riego de bajo costo, debido a que es gravitacional y a baja presión, y además utiliza tuberías de bajo espesor y cargas hidráulicas pequeñas (10 – 20 cm.).

Desventajas de este sistema de riego:

- No es posible aplicar fertilizantes y pesticidas con el agua de riego.
- No permite utilizar el agua de riego durante las 24 horas, sin supervisión continua.
- Una gran cantidad de agua se pierde por evaporación.
- En los suelos arenosos no se puede usar este tipo de riego, ya que se pierde mucha agua, por que se infiltra rápidamente.
- La lentitud en el riego y el uso elevado de mano de obra para nivelar el terreno o trazar curvas a nivel, aumentan los costos de producción.

Por lo que plantea Barrientos (2000) los factores que influyen en los costos de este sistemas son los siguientes:

- *Longitud del paño de riego:* El riego californiano tiene un menor costo por hectárea cuando más largos pueden ser los surcos o platabandas.
- *Pendiente transversal:* Se refiere a pendiente que se da naturalmente en el terreno a lo largo de la antigua acequia o la que se puede lograr para que la tubería principal instalada en su reemplazo. Esta pendiente influye moderadamente en los costos de inversión inicial, ya que a menor pendiente se requiere mayor número de sectores de riego (cámaras y válvulas).
- *Topografía y micro relieve:* Para que el riego californiano produzca los beneficios esperados (aumento de eficiencia de aplicación, mayor uniformidad del riego y menor requerimiento de mano de obra en la operación del riego), es necesario contar con una superficie de suelo parejo, sin micro relieve.

En los casos en que sea necesario una nivelación de suelos, se debe sumar este costo al de la inversión en riego californiano, llegando a cifras cercanas al 60% de costo de inversión en sistemas de riego por goteo, con claras ventajas para este último (Barrientos, 2000).

2.6.1.2 Riego por Microaspersión

Este sistema de riego es a presión permitiendo aplicar el agua en forma de una lluvia fina sobre parte de la superficie del suelo en el que se desarrolla la planta (normalmente árboles), produciendo una zona de humedad constante y localizada, de mayor tamaño que en el goteo. El agua se vierte a baja presión mediante los microaspersores, ubicados a lo largo de una tubería. Este sistema no moja toda la superficie del suelo, y las raíces de los árboles crecen y se concentran en la zona de mayor humedad (Barrientos, 2000).

Se llama bulbo húmedo al volumen humedecido por emisor de riego localizado. El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, que tiene una gran importancia, ya que se desarrolla el sistema radical de las plantas (Fuentes, 1996).

Fuentes (1996) menciona que la forma y tamaño del bulbo húmedo depende de los siguientes factores:

- Textura del suelo
- El caudal de cada emisor
- El tiempo de riego

Mediante el riego localizado en el interior del bulbo húmedo se consigue mantener un alto potencial hidráulico gracias al alto contenido de agua que se conserva al aplicar muy frecuente el riego, aunque debido a la salinidad del agua el potencial osmótico sea bajo, facilitando de esta forma el desarrollo del cultivo en mejores condiciones que con otros métodos de riego (INIA, 1993).

Cuando se presentan problemas de salinidad en el agua de riego o en el suelo, el riego localizado está más indicado que otros métodos (INIA, 1993).

En suelos muy permeables en los que el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad y poco en anchura, el riego por goteo ha sido insuficiente en cuanto al área de suelo mojado y como medida de solución surge la microaspersión (Pizarro, 1996).

Respecto a los microaspersores, estos dispositivos echan el agua en forma de lluvia fina en un radio no mayor a los tres metros, con caudales promedios de entre 16 y 200 litros por horas en cada punto de emisión, este sistema trabaja a una presión comprendida entre 10 y 20 mca. Los dispositivos que tienen toberas fijas se llaman difusores, y los que tienen algún elemento con movimiento de rotación se llaman microaspersores (Fuentes, 1996). Otra característica importante es el diámetro de la boquilla, que suele estar comprendida entre 0.8 y 1.6 mm, es decir, mayores que el paso mínimo de los goteros (Pizarro, 1996).

Por lo que menciona INDAP (2000) los elementos básicos que componen un equipo de riego por microaspersión son los siguientes:

- *Unidad de bombeo*: Es un equipo conformado de una bomba centrífuga, con motor eléctrico o motobomba bencinera, con el objeto de aspirar el agua desde la fuente e impulsarla con presión hasta el cabezal de control y red de tuberías.
- *Cabezal de control*: Es un conjunto de elementos destinados a regular la presión, filtrar el agua antes que llegue a las tuberías, controlar caudales y dosificar los fertilizantes que se aplican junto al agua de riego.

- *Red de tuberías*: Para distribuir el agua de riego en toda la superficie del cultivo, se hace circular el agua a presión desde el cabezal de control, por una red de tuberías de PVC, de diferentes diámetros, hasta llegar a las líneas de microaspersión, que se ubican a lo largo de las hileras de plantas.
- *Microaspersores*: Estos son los dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de tuberías al suelo que se quiere regar. Su función es entregar el agua en forma de lluvia fina lo más parejo posible.

Según Pizarro (1996), la diferencia con los demás emisores de riego localizado es que en los microaspersores, el agua, una vez pulverizada, se distribuye por el aire a distancias variables, mientras que en los demás emisores el agua cae en forma de gota o chorro sobre una superficie pequeña, y la distribución de la humedad se produce a través del suelo.

Ventajas

- El bulbo húmedo en suelos ligeros.
- Menor riesgo de obturaciones, debido al mayor diámetro de paso y a la más alta velocidad del agua.
- Régimen de sales en el suelo, la mayor extensión del bulbo húmedo hace que las zonas de concentración de sales estén más alejadas de la planta y por otro lado los lavados extras son más fáciles con los microaspersores.
- Uniformidad del riego mejor que por goteo.
- Facilidad de inspección.

Desventajas

- El costo por instalación es mayor, sobre todo de los laterales, donde en goteo son mas frecuentes los laterales de 12 y 16 mm de diámetro, en microaspersión lo son los de 25 y 32 mm aumentando los costos hasta en un 300%. Por otro lado en el punto inicial de la red la presión por microaspersión va de un 10-20 % más que por goteo, aumentando los costos de instalación y mantención.
- Eficiencia del riego por microaspersión es menor en un 10% en climas áridos y un 5% en climas húmedos, debido por pérdidas por evaporación de agua pulverizada y parte por la escorrentía.
- Problemas fitosanitarios, por lo que plantean algunos autores que el agua pulverizada puede mojar la base del tronco, favoreciendo el desarrollo de enfermedades en el cuello.
- Vandalismo, los microaspersores son mas vistosos, fáciles de desconectar y caros que los goteros, por lo que con cierta frecuencia se dan casos de destrucciones y robos.

Por último Pizarro (1996) plantea que la situación mas indicada para la microaspersión es el riego de árboles en terrenos ligeros, o el empleo de aguas con alto riesgo de obturación.

2.6.1.3 Riego por Goteo

El riego por goteo es un sistema de riego a presión que permite aplicar agua gota a gota sobre la superficie del suelo con el que se desarrolla la planta, produciendo una zona húmeda constante y localizada. El agua se vierte a baja presión mediante emisores o goteros, ubicados a lo largo de una tubería, con caudales pequeños no superiores a 20 litros por hora. Este sistema no moja toda la superficie del suelo, y las raíces de las plantas crecen y se concentran en la zona de mayor humedad (Barrientos, 2000).

Los componentes fundamentales de una instalación de riego por goteo son los siguientes (INIA, 1995):

- Cabezal de riego.
- Red de distribución.
- Emisores o goteros.
- Dispositivos de control.

La base del sistema es un tubo de polietileno tendido sobre el terreno, a la base de una hilera de plantas y alimentado por una tubería central; el tubo de polietileno es perforado y en los orificios se ajustan cabezas de exudación que entregan agua en la base de la planta a cantidades uniforme. La presión de la tubería se disipa por medio de un ducto en espiral al interior del cabezal y la descarga de exudación es de dos a ocho litros por hora, de acuerdo al cabezal de exudación que se utilice (Withers y Vipond, 1986).

Un sistema típico de riego por goteo moja solamente una porción de la superficie del suelo en un cultivo plantado en un espaciamiento grande. Las diferencias en potencial del agua del suelo permiten el movimiento del agua desde el emisor a lo largo del perfil del suelo, tal como indican las líneas presentadas en la figura 6 (Gurovich,2001).

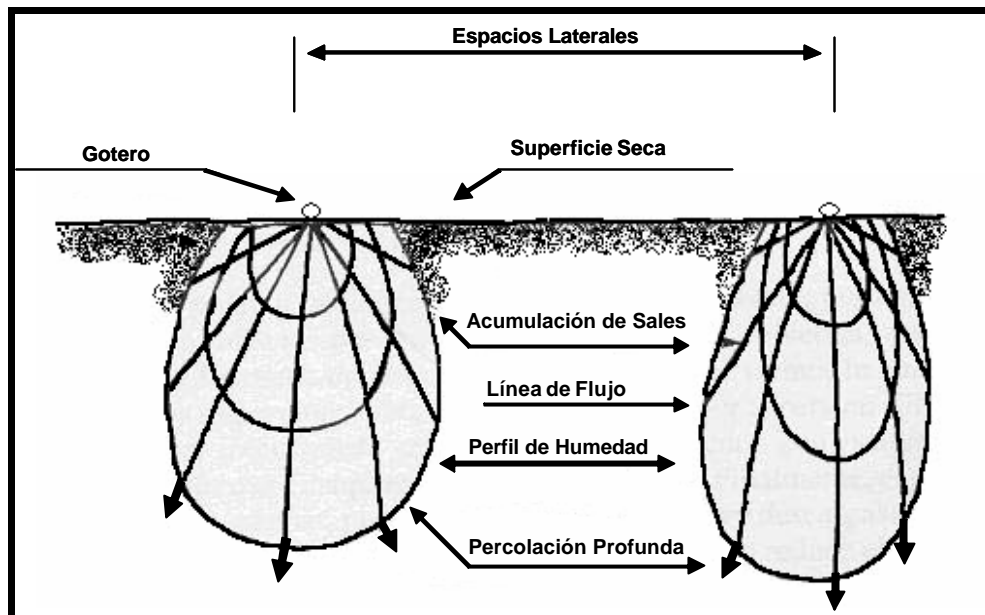


FIGURA 6: Movimiento del agua desde el gotero a lo largo del perfil del suelo.
 FUENTE: Gurovich, 2001.

En relación a la forma del bulbo húmedo afirma Pizarro (1996) que, en la aplicación del riego por goteo se han presentado algunos problemas relacionados con la forma y extensión del bulbo húmedo, concretamente, con el insuficiente desarrollo del bulbo en suelos ligeros, es decir, de textura arenosa.

Existen una gran variedad de goteros, los que se pueden clasificar según la configuración de su conducto, de la forma siguiente: de laberinto, de orificio, de remolino y autocompensante (Fuentes, 1996).

El gotero autocompensante tiene dispositivo que permite variar de tamaño de su conducto con relación a la presión del agua. Proporciona un caudal correcto dentro de una amplia variación de presiones, por lo que está indicado en terrenos accidentados, en donde se producen importantes diferencias de presión. Tiene los inconvenientes de que es bastante sensible a obstrucciones

y que al cabo de cierto tiempo de funcionamiento pierde la facultad de autocompensación (Fuentes, 1996).

Por lo que menciona INIA (1995) el riego por goteo ofrece una serie de ventajas y desventajas, las cuales son las siguientes:

Ventajas:

- Mejor aprovechamiento del agua.
- Posibilidad de usar agua con un índice de salinidad más alto.
- Mayor uniformidad del riego.
- Mejor aprovechamiento de los fertilizantes.
- Aumento de la cantidad y calidad de las cosechas.
- Menor infestación por malezas, debido a la menor superficie de suelo humedecido.
- Posibilidad de aplicar fertilizantes, correctores y pesticidas con el agua de riego.
- Facilidad de ejecución de las labores agrícolas, al permanecer seca una buena parte de la superficie del suelo.
- Ahorro de mano de obra.
- Menor costo anual.

Desventajas:

- Se necesita un personal calificado.
- Cuando se maneja mal el riego existe riesgo de salinización de bulbo húmedo.
- Hay que vigilar periódicamente el funcionamiento del cabezal y de los emisores, con el fin de prevenir obstrucciones.
- Es preciso hacer un control de las dosis de agua, fertilizantes, pesticidas y productos químicos aplicados al agua de riego.
- Exige una mayor inversión inicial.

2.6.2 Eficiencia en los Sistemas de Riego

La Eficiencia de riego es la relación entre la cantidad de agua que queda disponible para las plantas en la zona de las raíces y la cantidad de agua aplicada (INIA, 1993).

Para mejorar la eficiencia en el riego implica (INIA, 1991):

- Mantener la zona de las raíces de las plantas sin excesos ni falta de agua.
- Evitar las inundaciones en los sectores más bajos del potrero, con lo que se evitan las cocheduras y enfermedades del cuello de las plantas.
- Disminuir los problemas de drenaje.
- Aumentar los rendimientos de las plantas.
- Regar mas superficie con la misma agua que llega al predio.

El escurrimiento superficial y la percolación profunda son pérdidas desde el punto de vista de la eficiencia de riego. Además los métodos de riegos difieren en cuanto a su eficiencia, pudiendo ésta tener un amplio rango de porcentaje de diferencia como se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 5: Métodos de riego y su eficiencia de aplicación

Método de riego	Eficiencia del riego	
	Normal	Californiano
Tendido	30	35
Surco	45	50
Borde	60	65
Tazas	65	70
Aspersión	75	
Microaspersión	85	
Goteo	90	

FUENTE: Comisión Nacional de riego, Ley de Riego 18.450 de 2002

Los métodos más eficientes corresponden aquellos en el que agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en forma localizada, como es el caso de goteo y microaspersión (Barrientos, 2000).

2.7 Antecedentes de *Eucalyptus globulus*

En cuanto los requerimientos climáticos corresponden a un clima templado-frío, con precipitaciones de 500 a 1500 mm anuales, que pueden presentar un máximo estival (zona costera sur de Nueva Gales del Sur, Australia) o de máximo invernal (zonas interiores de Victoria). Las zonas costeras están prácticamente libres de heladas, pero en latitudes mayores éstas pueden presentarse incluso más de 70 veces por año. Las temperaturas dentro del área de distribución natural de la especie muestran valores de 10° a 15°C para la media anual y de -5° y 40°C para extremas absolutas (Proyecto Fondef D97I2004, 1997).

Respecto a los requerimientos edáficos, esta especie se desarrolla sobre un amplio rango de sustratos, pero se ubica especialmente sobre suelos derivados de rocas graníticas. No crece en forma natural sobre suelos calcáreos o alcalinos y tampoco se encuentra ocupando suelos mal drenados. En Chile la especie se desarrolla sobre suelos limosos o algo pesados, moderadamente fértiles y con buen drenaje, pero con un adecuado contenido de humedad. Geográficamente se encuentra en la VIII y IX Regiones (Prado y Barros, 1989).

2.8 Riego en Plantaciones Forestales

Países como Australia, Portugal y Chile, han investigado y comprobado la conveniencia de suministrar agua a *Eucalyptus*, aumentando así la productividad y la rentabilidad de los cultivos. A continuación se presenta, en forma breve, el resultado de algunos estudios que han evaluado el efecto del agua en el crecimiento de esta especie.

En Chile en el secano costero de la octava región la experiencia obtenida determinó que el agua consistentemente se manifiesta como el factor que más incide en el crecimiento del eucalipto. El efecto promedio del riego a los 24 meses sigue siendo mucho mayor a la fertilización alcanzando un incremento de crecimiento de 58% contra un 19% del efecto promedio de la fertilización (FONDEF D97 I2009, 2001).

En un estudio realizado en Portugal por Pereira *et al.* (1989), en una zona con clima mediterráneo, se probó el efecto del riego en la producción de biomasa de *E.globulus*, en donde aquellos tratamientos que presentaron riego incidieron fuertemente en la producción de biomasa. Después de 11 y 23 meses, los incrementos de biomasa en árboles con riego fueron de 91% y de 85% mayores que en aquellos sin riego, respectivamente. En cuanto a la relación biomasa tronco/biomasa hojas, los árboles presentaron un mayor crecimiento del tronco en relación a la biomasa de las hojas.

En Australia se midieron durante los cuatro primeros años, luego del establecimiento, los patrones de crecimiento, ante el uso de riego, en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, se encontraron diferencias significativas en los crecimientos de dichas especies. En cuanto al crecimiento en altura en *Eucalyptus globulus* se obtienen mejores resultados ante el riego a diferencia de *Eucalyptus nitens* el cual tiene una mejor respuesta en el incremento en diámetro (Honeysett *et al.*, 1996).

En Chile en los suelos arroceros del distrito de Riego Digua (D.R.D) al sur del secano interior del valle central, la forestación con *E. globulus* se ve positivamente influenciada por el riego. Los mejores resultados de este ensayo bajo frecuencia de riego por surco en D.R.D se obtienen al regar 2 veces al mes, con este tratamiento se supera el 90% de supervivencia y el crecimiento en diámetro es el doble que los tratamientos sin riego (Cisterna, 1999).

Por otra parte, Davies et al. (1989) en Portugal, desarrollaron con plántulas de *E.globulus* dos tratamientos, uno con aplicación de agua todos los días y otro sin ninguna aplicación. Se tomaron mediciones de conductancia estomática y la fotosíntesis, durante distintas horas del día y se determinó que en ambos tratamientos la conductancia estomática y la fotosíntesis descendieron a medida que el tiempo transcurría. Sin embargo, esta disminución fue mayor en el tratamiento sin riego, tanto en la conductancia como en la fotosíntesis, lo cual implica en el largo plazo una menor producción de biomasa.

Por último Santelices *et al.* (1995), plantea que en plantaciones de *E. globulus* en la VII Región, con un severo estrés hídrico durante el verano, destacan la importancia que tiene el riego después de un año del establecimiento de los árboles.

De todas las experiencias e investigaciones antes mencionadas, se entiende la importancia que tiene la disponibilidad de agua en el crecimiento de eucaliptos tanto en diámetro, altura y biomasa. Además si consideramos que las plantaciones de *E. globulus* y *E. nitens* en Chile se concentran desde la octava Región hacia el norte, el factor limitante del establecimiento y desarrollo de las plantas es la falta de agua durante las estaciones de primavera y verano, donde el riego es la solución a esta problemática.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Materiales

Para la instalación del ensayo se utilizaron los siguientes materiales.

3.1.1 Preparación del Suelo

La preparación del suelo fue realizada mediante subsolador profundizando a 60 cm con un ancho de 1-1.5 m con el objeto de favorecer la reserva de agua y ofrecer las mejores condiciones para el desarrollo radicular de las plantas para que puedan colonizar y explorar el terreno aprovechando al máximo las condiciones del sitio.

3.1.2 Plantación

Realizada en Septiembre del 2003. con plantas de *Eucalyptus globulus Labill*, provenientes de viveros de forestal y Agrícola Monte Águila de la ciudad de Los Angeles.

3.1.3 Control de Malezas

Se realizo un control mecánico y químico preplantación con 2.5 – 3 lit./há. de Simazina y posplantación con 3 lit./há de Glifosato.

3.1.4 Fertilización

La dosis utilizada corresponde a 3 gr. Boro, 25 gr. Nitrógeno y 50 gr. de Fósforo, las que fueron aplicadas en cobertera formando un anillo alrededor de la planta con un radio aproximado de 15 cm. La distribución de la dosis especificada se hizo mediante dosificadores rasados para cada uno de los elementos.

3.1.5 Instalación Sistemas de Riego

La instalación del sistema fue realizado por el proyecto Fondef D011140, el cual consta de los siguientes elementos.

A-) *Construcción de zanjas:* Para la instalación de las tuberías fue necesario construir una red de zanjas de diversos anchos y profundidades.

B-) *Succión:* Consta con una válvula de pie de 1 ½"-2" y de tubería PVC hidráulico clase 10, además de uniones americanas que permiten un fácil desmontaje en caso de que fuera necesario realizar mantenciones o reparaciones en la succión como en la impulsión. Ingresa el agua desde la fuente de captación al sistema.

C-) *Impulsión (centro de bombeo):* Es la componente principal del sistema, puesto que succiona el agua de la captación y la ingresa al sistema presurizándolo, permitiendo que los emisores (goteros, microaspersores, etc) permitan la correcta evacuación de los caudales requeridos por las plantas en cualquier punto del sistema.

D-) *Elevación:* Red subterránea de tuberías que transporta y distribuye el agua sobre el área de experimentación desde el centro de bombeo. Se constituye de tubería de PVC clase 6 con diámetros que varían desde 75, 63 y 40 mm. La red de distribución principal alcanza los 63 mm de diámetro en los puntos donde se encuentran ubicados los centros de válvulas.

E-) *Filtros*: Están ubicados después del centro de impulsión, en donde los filtros son de 1 ½" de diámetro dispuestos en paralelo con el objeto de impedir o minimizar el ingreso de partículas que puedan obstaculizar la salida de agua por los emisores tapándolos o simplemente produciendo un mal funcionamiento.

F-) *Centro de válvulas*: Estas electro válvulas son de 1", una para cada tratamiento, las que se abren y cierran automáticamente permitiendo la salida del agua desde la red principal hacia la red secundaria.

G-) *Programadores de riego*: El programador presente en el ensayo es un Raind Bird, al cual se ingresa semanalmente los intervalos, ciclos, tiempos de riego y horas de inicio de los riegos necesarios para aplicar las cantidades de agua necesarias para cada tratamiento.

H-) *Red secundaria*: Red subterránea de tuberías (PVC Clase 6 de 40 mm) que distribuye el agua desde los centros de válvula dentro de cada ensayo a los cabezales de las distintas parcelas experimentales. Debido a que el diseño es en bloques cada tratamiento tiene una red de distribución propia la que opera en completa independencia de los otros tratamientos.

I-) *Cabezales*: Estos corresponden al último nivel de distribución de agua en el sistema. Constituido por tubería PVC clase 6 de 40 mm. En cada cabezal se montaron por medio de un gromit y un conector de 16 mm cuatro líneas de polietileno virgen de 16 mm (una línea por hilera de plantación) las que contienen 10 emisores cada una (un gotero o microaspersor por cada planta).

La siguiente figura presenta un croquis que ejemplifica el diseño y distribución de los sistemas de riego presentes en este estudio.

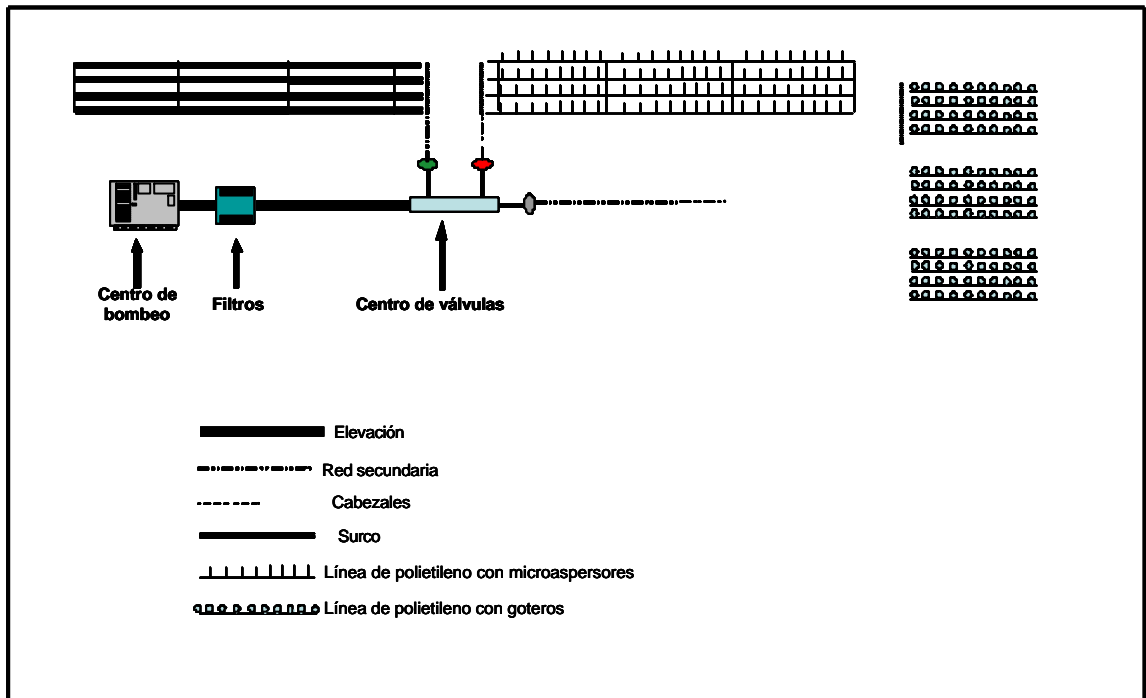


FIGURA 7: Croquis de los sistemas de riego presente en el lugar de estudio.

Para el funcionamiento y mantención del ensayo se siguieron las siguientes consideraciones:

A-) *Mantención de los sistemas de riego:* Constantes visitas se realizan a los sitios de experimentación con la finalidad de reprogramar los riegos, limpiar filtros, succiones y red hídrica en general además de revisar y solucionar posibles fallas. Estas actividades se complementan con las visitas de medición dendrométrica y de control del agua en el suelo.

B-) *Monumentación del ensayo*: Esto consistió en la instalación de estacas con una serie de códigos que indican el ensayo, el tratamiento, el bloque y el número de parcela junto con otras tres estacas que en su conjunto señalan los límites de las parcelas medibles. Cada parcela posee una estaca que contiene toda la codificación. La estaca además que contiene los códigos señala además la ubicación de la planta número uno de la parcela medible.

3.1.6 Medición de Velocidad Infiltración

Para medir esta constante hídrica se utilizó el método del doble cilindro infiltrómetro, el cual consiste de que el flujo radial es minimizado por medio de un área tampón alrededor del cilindro central. El movimiento del agua es en dirección vertical hasta que pase a la parte inferior de la orilla del cilindro, desde donde puede fluir en la dirección gobernada por la permeabilidad del suelo.

Para la realización de esta actividad se necesitaron los siguientes materiales:

- 2 cilindros de PVC de 45 y 90 mm. de 50 cm. de altura.
- Trozo de madera
- Combo
- Balde
- Regla
- Cronómetro
- Hoja de registro

3.1.7 Determinación de Curva Hídrica

En este caso se tomaron muestras de suelo a los 0-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm. de profundidad, de manera de obtener información del comportamiento de la curva en los distintos horizontes del suelo. Con las muestras obtenidas en terreno se realizaron las actividades pertinentes en el laboratorio de riego de universidad católica de Temuco, donde se necesitaron los siguientes materiales:

- Olla de presión y accesorios
- Estufa
- Pesa electrónica
- Hoja de registro

3.1.8 Medición de Densidad Aparente

Para la obtención de esta variable se utilizó el método del terrón en parafina, donde se necesitaron los siguientes materiales:

- Parafina sólida
- Pesa electrónica
- Calentador
- Soporte
- Hilo
- Agua
- Recipiente

3.1.9 Mediciones Dendrométricas

Estas mediciones parten como medición 0 en la fecha de establecimiento septiembre 2003 y terminan en mayo 2004, considerando DAC y HT en terreno y posteriormente la integración de las dos variables calculando el IBIO en gabinete. Para esta actividad se necesitaron los siguientes materiales:

- Pie de metro.
- Huincha.
- Vara telescópica
- Hoja de registro

3.2 Metodología

3.2.1 Descripción del Área de Estudio

- **Ubicación:** El estudio se llevara acabo en la comunidad Casas Quemadas a 4 Km. al noreste del paso superior Las Maicas, Sector aguada Chumulco a $37^{\circ}45'16.9''$ S $72^{\circ}17'56''$ W. 210 msnm., provincia del Bío bío VIII región, propiedad de Forestal y Agrícola Monte Águila S.A.

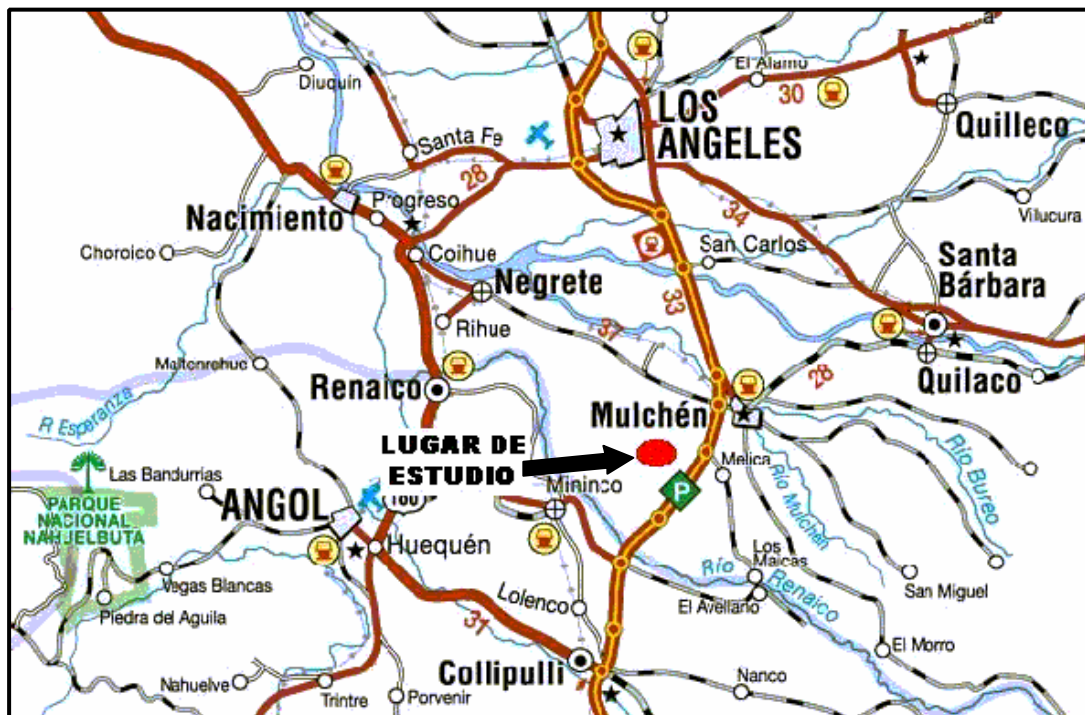


FIGURA 8: Mapa de ubicación del área de estudio.

- **Topografía:** Área plana con montañas a algunos kilómetros de distancia. El perfil presenta una topografía plana a ligeramente plana, con pendiente menor al 1%.
- **Drenaje:** Presenta un drenaje externo e interno bajo.
- **Vegetación:** Anteriormente presentaba una plantación de eucalipto sin remoción de capas y actualmente existe una plantación de eucalipto en entre hileras de plantación anterior.

3.2.2 Suelo

El suelo de Casas Quemadas se encuadra en Leptosol (FAO, 1993) y pertenece a la serie mirador de profundidad del solum que varía de 50 a 90 cm. y descansa sobre brecha volcánica meteorizada, de colores que van del 5 YR a 7.5 YR (Tosso, 1985). Son suelos delgados ($A_p = 35$ cm) en que el horizonte A_p se asienta sobre material original poco alterado. Textura franco limosa con fragmentos de roca, baja capacidad de retención de agua y pobre en nutrientes.

La figura 9 presenta los horizontes visualizados en la calicata hecha en el lugar de estudio, los cuales se describirán posteriormente por cada estrato.

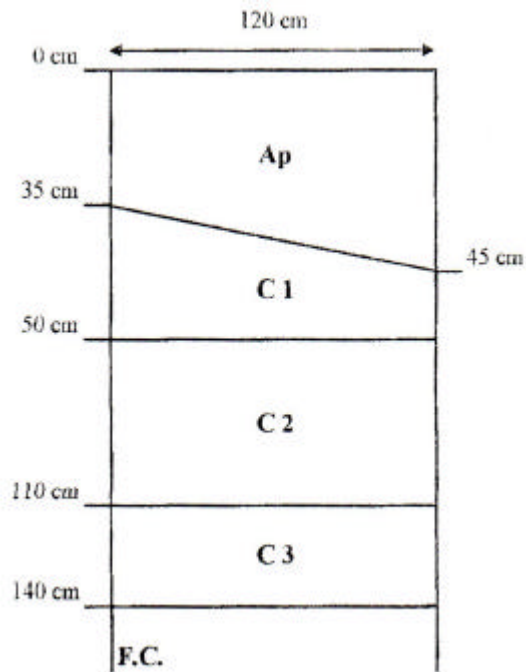


FIGURA 9: Representación de los estratos.

- **Ap (0-35/45 cm):** Horizonte mineral superficial de color Brown (7,5 YR 4/4 (s)) a Dark Brown (7,5 YR 3/2 (h)); textura franco limosa con algunos fragmentos de roca; agregación anisoforme angulosa media grosera y muy grosera fuerte; gran compactación, poco poroso, sin grietas, con pocas raíces finas y medias de plantación anterior. Estado seco. Transición irregular y evidente. Los terrones se destruyen con facilidad. En la segunda superficie de observación del horizonte Ap presenta un espesor de 40 cm, las raíces gruesas se localizan en el límite entre Ap y C1. En esta superficie, C1 presenta un espesor de aproximadamente de 20 cm en que los elementos groseros (saibros, casealho y sobre todo piedras) se presentan desordenados y reflejan el efecto del subsolador, la que no se verifica en la otra fase de observación.

- **C1 (45 - 80 cm)**: Camada casealenta y pedregosa con poca tierra fina de color strong Brown (7,5YR 4,515,5(s)) a Dark Brown (5YR 3/2 (h)); fragmentos rocosos moderadamente alterados; compacidad extremadamente elevada, mas las raíces finas y medias penetran fácilmente en los bolsones de tierra fina y no a través de grietas de la calicata (140 cm). Transición irregular y difusa.

- **C2 (50 - 110 cm)**: La camada C2 difiere de C1 por presentar menor proporción de tierra fina y mayor porcentaje de piedra molida y piedra en alteración. Color Yellowish Brown (10YR 5/4 (s)) a dark Brown (7,5YR ³/4 (h)).

- **C3(110 - 140 cm)**: Presenta menor geoquímica que la camada C2.

La figura 10 muestra una fotografía de la calicata del lugar de estudio, donde se pueden apreciar solo los tres primeros horizontes el Ap, C1 y C2 esquematizados en la figura 8.

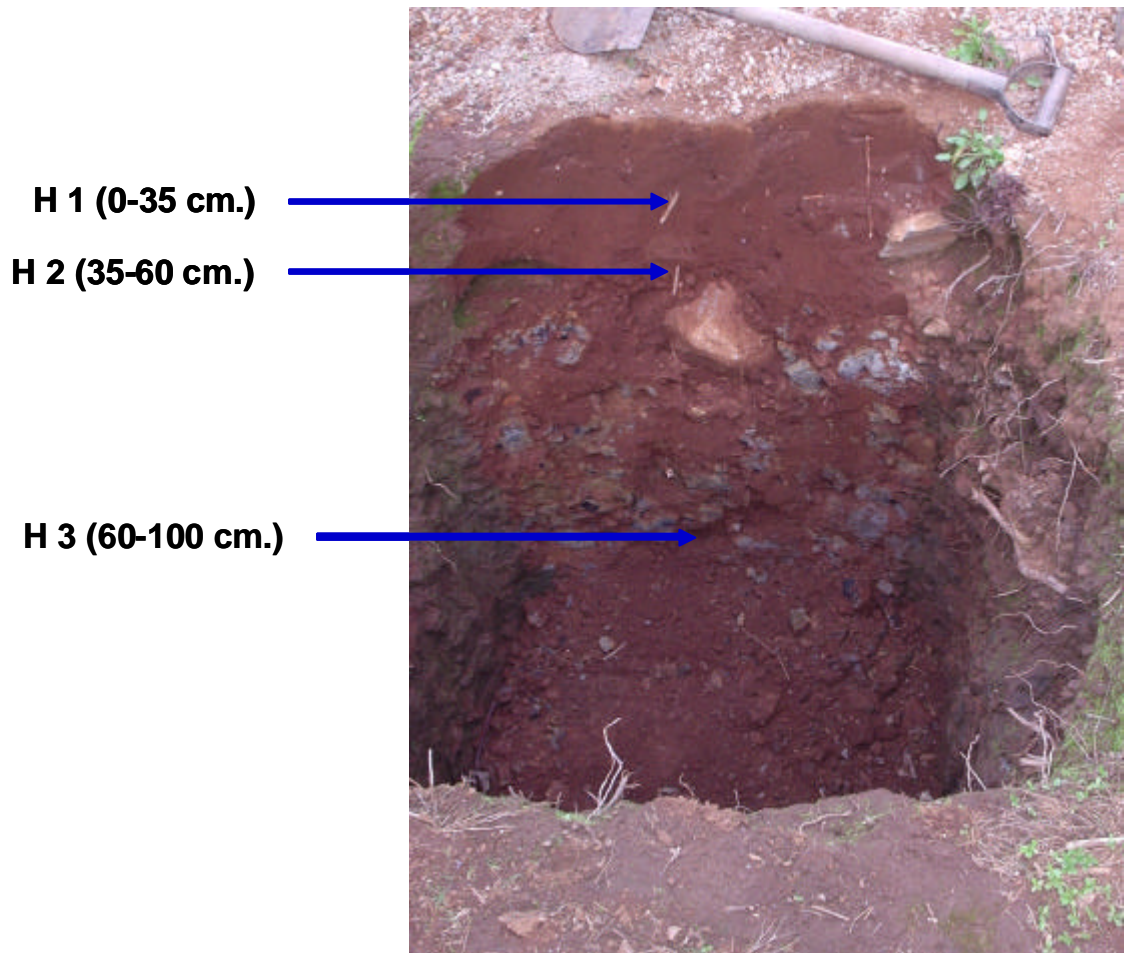


FIGURA 10: Fotografía de la calicata. Fundo Casa Quemadas.

3.2.4 Descripción y diseño del Ensayo

El objetivo de este ensayo es evaluar la respuesta del crecimiento de las plantas a distintos sistemas de aplicación de agua, bajo una cantidad de agua neta homogénea en cada uno de ellos. Bajo esta condición se consideraron variables de cada sistema como el caudal aplicado para cada tratamiento, los tiempos de riego que son los utilizados para homogenizar las cantidades de agua neta y por último la eficiencia de cada sistema, siendo este último el más importante, ya que influye en la cantidad de agua que puede aprovechar la planta, sin dejar de considerar que existen otros factores como el suelo, los costos, desarrollo del cultivo, etc. que al integrarlos determinan que tratamiento es el más recomendable bajo las condiciones del ensayo.

En el siguiente cuadro se describe cada una de las variables consideradas y la figura 11 muestra fotográficamente los métodos de riego utilizados para cada tratamiento.

CUADRO 6: Descripción de eficiencia, caudales y tiempos de riego necesarios para la realización del ensayo.

Variable	Microaspersión	Surco	Goteo
Eficiencia	80%	50%	90%
Caudal	43 Lit/hora	12 Lit/minuto	4 Lit/hora
Tiempo	1.5 horas	2 horas	2.5 hora

El agua aplicada deriva de la cantidad de agua evaporada de la bandeja clase A, en donde el siguiente cuadro hace un detalle del Eb (evapotranspiración de la bandeja) de la temporada de riego a partir del mes de diciembre y señala además la cantidad total de agua aplicada. Se debe tener presente que los parámetros hídricos de criterio de riego (Cr), evapotranspiración del cultivo (ETc), etc. fueron determinados por el proyecto Fondef D0111140.

CUADRO 7: Cantidad de agua aplicada mensual y por temporada según Eb en (mm) el 2004.

Mes	Eb (mm/mes)	Surco (mm/mes)	Goteo (mm/mes)	Microaspersión (mm/mes)
Diciembre	186	186	186	186
Enero	164	164	164	164
Febrero	171	171	171	171
Marzo	124	124	124	124
Abril	76	76	76	76
Mayo	49	49	49	49
Cantidad de Agua neta Aplicada	770	770	770	770
Total de agua aplicada temporada		1540	810.53	905.88



A



B



C

FIGURA 11: Fotografías del ensayo correspondiente a cada tratamiento: La fotografía A corresponde a riego por microaspersión (T1), la fotografía B corresponde a riego por surco bajo conducción californiana (T2) y la fotografía C muestra a riego por goteo (T3).

El diseño experimental es en bloques con 3 tratamientos y 3 repeticiones, con un total de 9 parcelas. El cuadro 8 resume la descripción del ensayo y la distribución de las parcelas se pueden observar en la figura 12.

El riego fue diario calculado en base al criterio de reposición de agua, es decir los riegos se efectuarán cada vez que el nivel de humedad en el suelo descienda a un 70% del total de agua disponible.

CUADRO 8: Antecedentes generales del ensayo

Especificaciones	Detalles
Diseño experimental	Bloques al azar
Especie	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill
Densidad	1428 plantas/há
Espaciamiento	3.5 * 2 m
Nº de bloques	3
Nº de tratamientos	3
Tratamientos	T1= Microaspersión, T2= Surco y T3= Goteo
Nº de plantas	40 (10 plantas * 4 hileras)
Nº de plantas medibles	16 (8 plantas * 2 hileras)
Área de la parcela	0.02 há

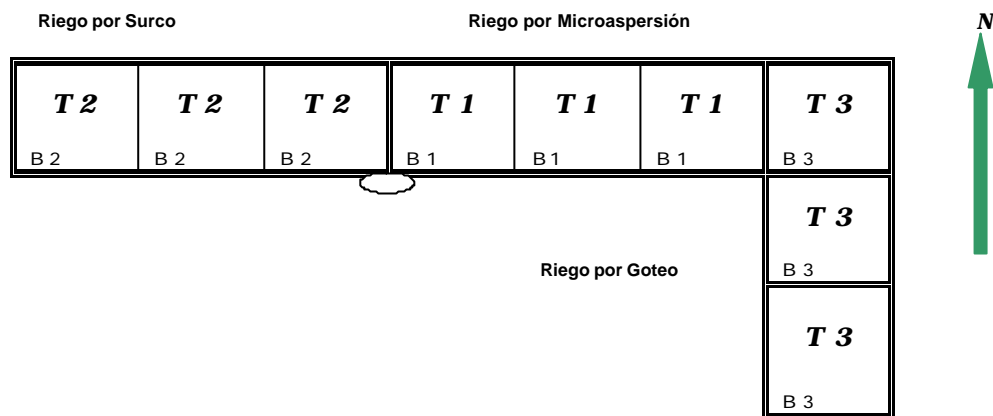


FIGURA 12: Distribución de las parcelas en el lugar de estudio.

FUENTE: Proyecto FONDEF D0111140

3.2.5 Parcelas Experimentales

La población en estudio corresponde a una agregación de 16 árboles, comprendidos en una parcela denominada parcela medible (individuo), los que se encuentran rodeados perimetralmente por una línea “buffer” de árboles como se muestra en la figura siguiente.

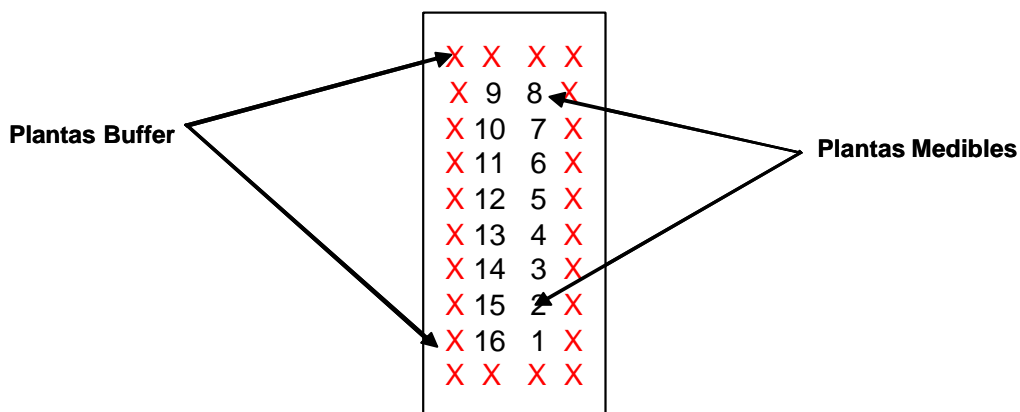


FIGURA 13: Diagrama parcela experimental; parcela medible y buffer.

FUENTE: Proyecto FONDEF D0111140.

3.2.6 Metodología a Emplear para Alcanzar cada uno de los Objetivos del Estudio.

La siguiente figura esquematiza la metodología a utilizar la cual será explicada posteriormente.

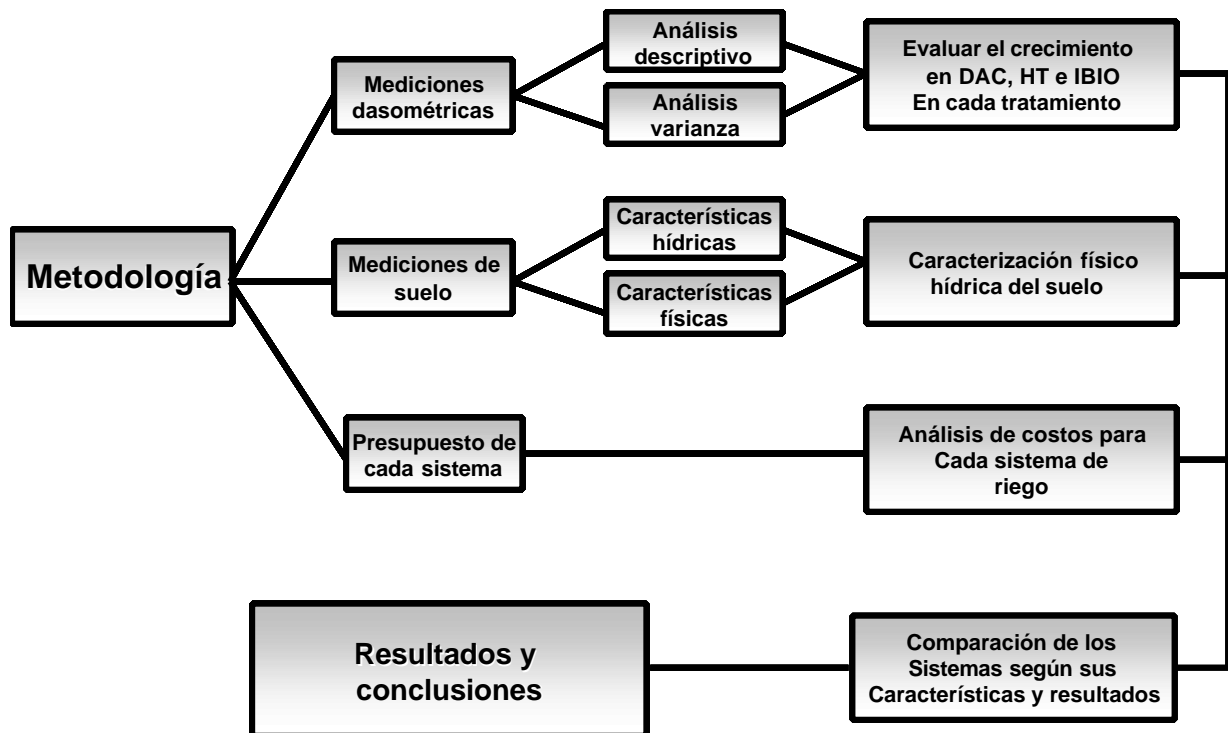


FIGURA 14: Esquematización de la metodología para alcanzar cada objetivo.

Evaluar el efecto de los sistemas de riego en diámetro, altura e índice de biomasa durante la primera etapa de crecimiento.

Para evaluar los tratamientos se realizaron mediciones dendrométricas, las que contemplan las siguientes variables de estado, diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura total (HT).

Estas mediciones fueron efectuadas a partir de Diciembre del 2003 que es cuando comienza el riego hasta mayo del 2004 realizando un seguimiento de 6 meses para poder comparar los distintos tratamientos y determinar si existen diferencias significativas. Para este análisis se trabajó con el incremento entre el mes de diciembre 2003 y mayo 2004 para cada una de las variables de estudio.

Para estimar la productividad se representó mediante el índice de biomasa D^2H (cm^3), el que se obtuvo de las variables diámetro a la altura del cuello y altura total anteriormente mencionadas.

$$\text{Indicador de Biomasa} = D^2 * H$$

Donde: D: Diámetro a la altura del cuello (cm).

H: Altura total (cm).

Con la información obtenida de las mediciones mensuales, se realizó un análisis descriptivo de las variables de interés DAC, HT e índice de biomasa (D^2H).

Para analizar si existe o no diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, se realizó un análisis de varianza de los factores. Se sometieron los datos a una prueba de comparación múltiple para diferenciación de las medias de los tratamientos, utilizando para ello la prueba LSD (Diferencia Mínima significativa) con un nivel de confianza de 95% mediante el programa estadístico Statgraphics 5.0 y mediante esta herramienta poder llegar a concluir si existen diferencias entre los tratamientos, con las hipótesis siguientes:

$$H_0: \mu_0 = \mu_i, \quad i=1,2,3$$

$$H_a: \mu_0 \neq \mu_i, \quad i=1,2,3$$

Si $|\mu_0 - \mu_i| > \text{LSD}$, no se acepta H_0 .

Describir las propiedades físicas e hídricas del suelo.

a -) Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente:

Para la obtención de estas variables se trabajó en el Laboratorio de Riego de Universidad Católica de Temuco que cuenta con las ollas de presión necesarias, en donde, en la olla de 5 bares se trabajó con los rangos 0.3; 0.5; 0.1; y 1 bar, y en la olla de 15 bares los rangos 3; 5; 7; 10 y 15 bares. Con estos datos posteriormente se construyó la Curva hídrica, la cual describirá la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y el potencial o energía con que esta retenida esa humedad. Además se pudo obtener las siguientes constantes hídricas CC, PMP e IHD.

b -) Densidad aparente:

Para esta variable se realizó el método de la parafina el cual consiste en untar un terrón en parafina y luego determinar su volumen el que fue hecho en los tres primeros horizontes, obteniendo 3 muestras de cada horizonte y por otro lado el del cilindro el cual representa la densidad aparente del primer horizonte.

c-) Velocidad de infiltración:

Para la determinación de esta variable se utilizó el método del cilindro doble, donde se utilizaron dos cilindros de pvc uno 90 mm. y otro de 200 mm. cada uno de 50 cm., donde el cilindro de mayor diámetro disminuyó el efecto de infiltración lateral, para solo poder determinar la infiltración vertical. Estos dos cilindros fueron enterrados 15 cm en el suelo en cada uno de los tratamientos. Este método se basa en registrar las alturas y los tiempos en el agua bajo del nivel superior del cilindro. Con estos datos se procederá a calcular la infiltración acumulada y la velocidad de infiltración.

Realizar un análisis de costos para cada sistema de riego desde el punto de vista de su establecimiento.

Se realizó un análisis económico teórico apuntando más que nada a los costos de equipos e instalación de cada uno de los sistemas. Para esto se consideraron costos actualizados de cada uno de los materiales empleados para los sistemas basándose en los precios de mercado que tengan cada una de las empresas que proveyeron y patrocinaron al proyecto Fondef D0111140.

Analizar comparativamente los sistemas de riego en cuanto a los resultados en crecimiento de *E. globulus*, costos y características.

Para este análisis se ideó un criterio de ponderación que va desde 1.0 a 7.0 en cuanto a los resultados en crecimiento DAC^{2*HT} , costos y características de cada sistema.

En el caso del crecimiento alcanzado por las plantas de *E. globulus* según tratamiento, se consideró la unidad m^3/ha . y para evaluar los costos implicados a cada sistema de riego se utilizó como unidad $US\$/ha$. La ponderación aplicada para cada ítem es de un 30% sumando ambos un 60% del total, debido a la importancia que tiene desde el punto de vista del inversionista.

Dentro de las características de los métodos de riego la eficiencia se asumió un 20% de la ponderación final, ya que presenta gran importancia operacional al momento de elegir el método de riego a utilizar.

Además se tomaron en cuenta consideraciones generales como la textura del suelo, topografía y supervisión que tienen un peso de 20% del total. Para textura se utilizó como criterio de ponderación de <5.0 a aquellos sistemas que tengan limitantes al tipo de textura como surco y goteo, y >5.0 aquellos que no, como es el caso de microaspersión. En cuanto a la topografía <5.0 los sistemas de riego que tengan restricciones de pendiente como es el caso de surco y >5.0 los que no presenten limitantes como goteo y microaspersión. La supervisión se refiere a la presencia de mano de obra para la funcionalidad del riego, en donde se ponderó <5.0 cuando se necesite supervisión continua (todos los días) como surco y esporádica >5.0 (una vez por semana) como es el caso de goteo y microaspersión.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción Climática del lugar de estudio

El clima presente en el lugar de estudio es templado calido con una estación seca corta (menos de 4 meses), con precipitaciones que fueron en el año que se realizo el estudio de 1083.2 mm, que se distribuyeron en verano 4.3%, otoño 18%, invierno 48.4% y primavera 29.3%.

El siguiente cuadro muestra el comportamiento de las temperaturas medias máximas y mínimas, y las precipitaciones mensuales durante los meses de septiembre 2003 hasta agosto 2004.

CUADRO 9: Parámetros climáticos del lugar de estudio desde septiembre 2003 hasta agosto 2004.

MESES	T °C Media	T °C Media Máx.	T °C Media Min.	PP Mensual (mm)
Septiembre 2003	9.6	10.1	9.1	120.9
Octubre 2003	12.0	17.6	8.7	94.7
Noviembre 2003	14.8	17.5	11.1	101.1
Diciembre 2003	14.6	20.6	10.6	34.1
Enero 2004	19.3	23.3	15.7	1.5
Febrero 2004	18.9	19.7	18.1	11.2
Marzo 2004	16.3	16.9	15.7	73.6
Abril 2004	11.3	11.8	10.9	100.2
Mayo 2004	8.6	9.1	8.0	21.5
Junio 2004	7.7	8.1	7.4	209.0
Julio 2004	7.1	7.5	6.8	196.7
Agosto 2004	8.3	8.8	7.8	118.7

FUENTE: Informe meteorológico diario 2003 – 2004. Estación La Granja Forestal Mininco S.A.

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 12.4 °C, con una máxima media el mes más calido (enero) de 23.3 °C y una mínima media del mes más frío (julio) de 6.8 °C (observar cuadro 9).

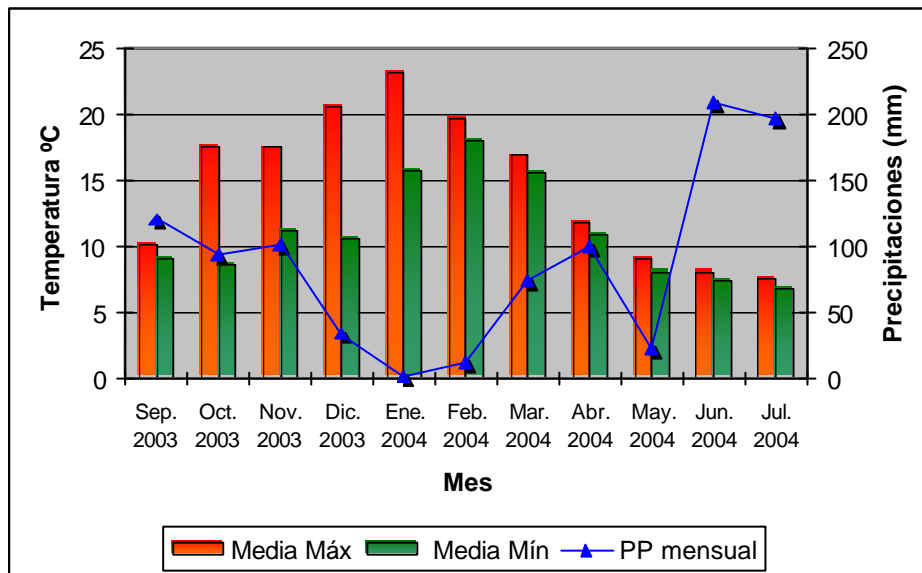


FIGURA 15: Gráfico de Temperatura y precipitación del lugar de estudio.

FUENTE: informe meteorológico diario 2003 – 2004. Estación La Granja Forestal Mininco S.A.

Por lo que presenta la figura 15 el periodo de temperaturas máximas están relacionadas con el periodo mas seco del lugar de estudio que se concentra entre los meses de diciembre a febrero, siendo el mes de enero el mas critico con 1.5 mm de agua caída. Por otro lado si se relaciona con el gráfico de crecimiento en biomasa de la figura 23 se observa que esos meses presentó un crecimiento mas lento que los meses de marzo a mayo, debido a que bajo esas condiciones climáticas el agua entregada por el riego no fue suficiente para compensar las pérdidas por evapotranspiración y cubrir las necesidades de las plantas en el período de mayor actividad fisiológica, pero que en todo caso evito que las plantas llegaran a un estado de estrés hídrico.

Dentro de las experiencias que se han tenido Pereira *et al.*, (1989), señalan que en Portugal, existen plantaciones de *E. globulus* en zonas que la temperatura media bordea los 20 °C y 10°C durante las estaciones de verano e invierno. Además en plantaciones de *E. globulus* y *E. nitens* establecidas en la isla de Tasmania (Australia), se registran valores de temperaturas medias igual a 17 °C y 8°C, durante las mismas estaciones respectivamente (Honeysett *et al.*, 1996). En ambos casos los valores de temperaturas reportados están en rangos similares al lugar de estudio.

4.2 Caracterización físico hídrica del Suelo

Según los requerimientos ecológicos de la especie plantados por García *et al.*, (2003) la textura requerida para *E. globulus* es de limosa a franco-arcillosa y la del lugar de estudio es franco limosa, en donde la curva hídrica que presenta este suelo que se puede observar en la figura 24 del anexo 1, muestra claramente un comportamiento de un suelo franco según representación gráfica de Jara y Valenzuela (1998).

Por otro lado el siguiente cuadro muestra parte de las características físicos hídricas del suelo del lugar de estudio.

CUADRO 10: Caracterización físico hídrica del lugar de estudio.

Horizontes	CC	PMP	IHD	Dap. (gr/cc)
H 1 (0-35 cm.)	46	24.6	21.4	1.2
H 2 (35-50cm)	38	25	13	1.42
H 3 (50-110 cm)	32	21	11	1.56

FUENTE: Leovijildo Medina, Fondef D0111140.

Este tipo de suelo son delgados (110 cm.), siendo esta una característica relevante para el desarrollo de las raíces de los árboles, tomando en cuenta lo descrito por Schlatter *et al.*, (1998) el cual realizó un estudio de las características de los sitios de *Pinus radiata* en zonas de las regiones VIII y IX, concluyendo que los suelos con menor profundidad limitan el arraigamiento de los árboles.

En el cuadro 10 es posible observar la densidad aparente de los distintos horizontes variando de 1.2 a 1.56 gr/cc, aumentando proporcionalmente a la profundidad de los horizontes, demostrando la gran compactación del suelo y poca porosidad. Por lo que plantea Honorato (1994), el arraigamiento en profundidad se ve limitado por una alta densidad aparente, mientras que Gerding (1991) (citado por Schlatter *et al.*, 1998) señala que los valores de densidad aparente mayores a 1.3 gr/cc en el suelo superior constituyen un nivel crítico para el crecimiento de *Pinus radiata*. En el caso del lugar de estudio este presenta valores de densidad aparente altos llegando 1.56 gr/cc en el horizonte 3 limitando el desarrollo radicular. Además Honorato (1993), menciona la relación inversa entre la densidad aparente y la porosidad, en donde el suelo del lugar de estudio presenta una alta densidad aparente, pero una baja

porosidad, lo que trae consigo una disminución de la aireación de las raíces y capacidad de almacenamiento de agua.

La siguiente figura muestra el intervalo de humedad disponible, que considera las constantes hídricas de capacidad de campo y punto de marchitez.

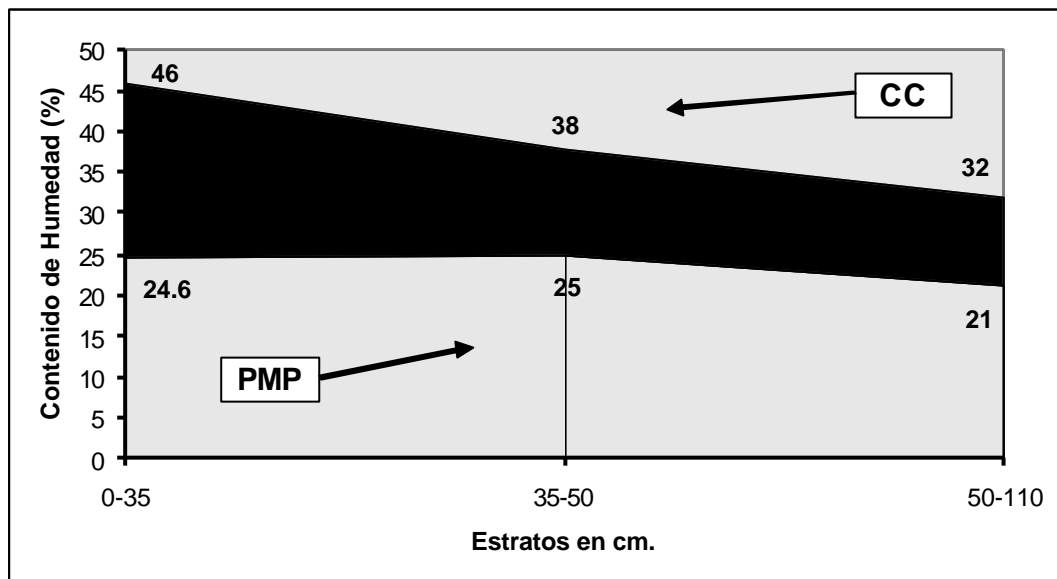


FIGURA 16: Representación gráfica del intervalo de humedad disponible (IHD).

Como muestra la figura 16 el IHD es inversamente proporcional a medida que se avanza a las estratas mas profundas y aumenta la densidad aparente, de manera que se ve reducida la aireación del suelo y por ende la cantidad de agua disponible. El primer horizonte logra mayor agua disponible debido a que este presenta mayor contenido de materia orgánica que los otros horizontes, lo cual favorece medianamente la capacidad de retención de humedad. De todas maneras los distintos IHD según profundidad muestran la baja capacidad de retención hídrica del suelo respaldándose además por la alta compactación, en donde la preparación del suelo juega un papel fundamental para favorecer la reserva de agua y mejorar las condiciones para el desarrollo radicular de las plantas, de manera de aprovechar al máximo las condiciones del sitio.

4.2.1 Capacidad de Infiltración Correspondientes a cada Tratamiento.

Las pruebas de infiltración fueron hechas después del subsolado y establecimiento, por ende la diferencia de los resultados obtenidos en aquellos lugares donde están ubicados los distintos tratamientos.

La siguiente figura presenta la velocidad de infiltración e infiltración acumulada del lugar donde esta establecido el T1 de microaspersión.

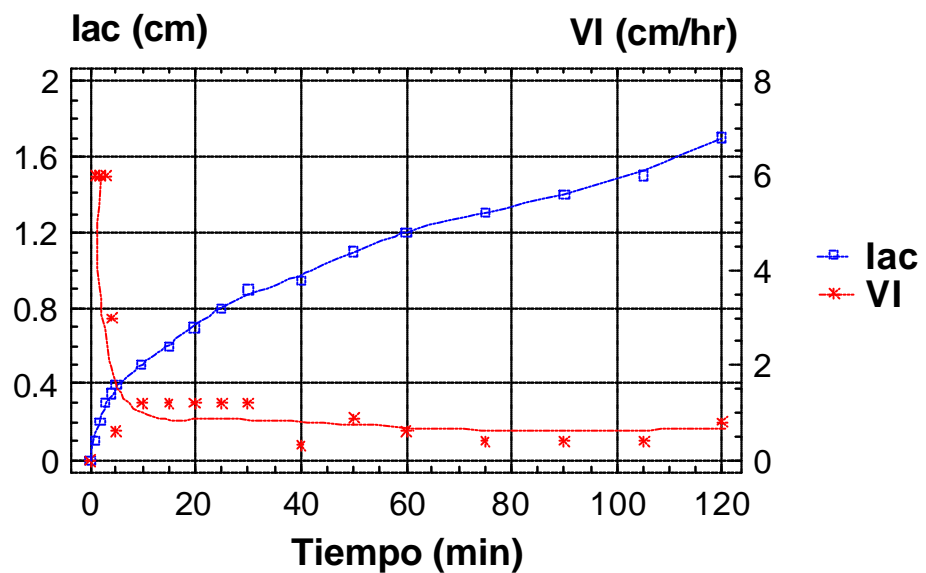


FIGURA 17: Representación grafica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T1 (Microaspersión) realizada en mayo del 2004.

En el caso del T1 el suelo presenta una baja velocidad de infiltración de 0.4 cm/hr debido por un lado a que en este sector existe una mayor compactación del terreno, comportándose de textura arcillosa siendo que presenta una textura franco limosa por lo que plantea Perrot citado por CIREN 111 (1996). En donde logra una estabilidad de capacidad infiltrada a los 105 minutos con una infiltración acumulada de 1.5 cm (ANEXO 2).

La siguiente figura presenta la velocidad de infiltración e infiltración acumulada del lugar donde esta establecido el T2 de surco bajo conducción californiana.

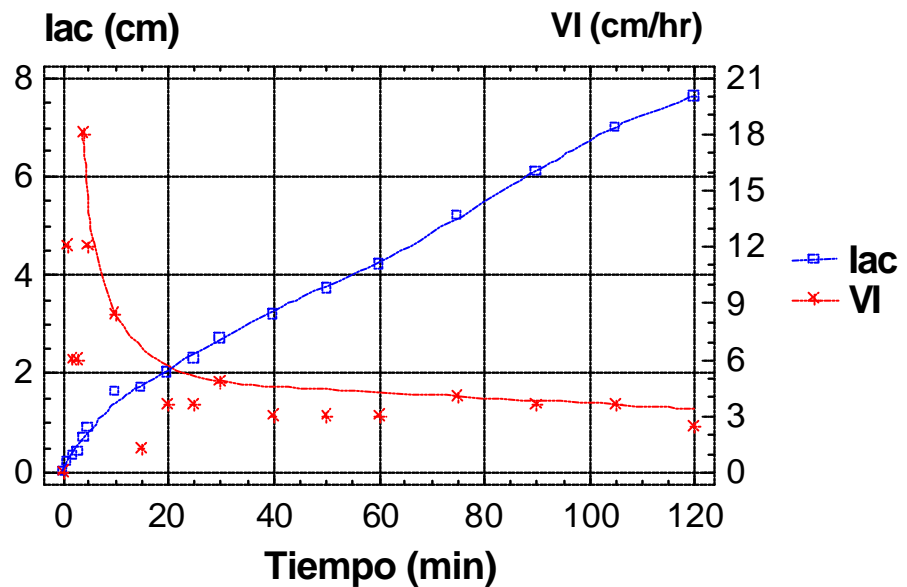


FIGURA 18: Representación grafica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T2 (Surco con conducción californiana) realizada en mayo del 2004.

El suelo donde se ubica el T2 presenta una mayor velocidad de infiltración de 3.6 cm/hr mayor que T1, debido a que este lugar se mantiene el efecto del subsolado, existiendo mayor porosidad y menor compactación llegando a estabilizarse la curva de velocidad de infiltración a los 105 minutos con una infiltración acumulada de 7 cm (ANEXO 2).

La siguiente figura presenta la velocidad de infiltración e infiltración acumulada del lugar donde esta establecido el T3 de goteo.

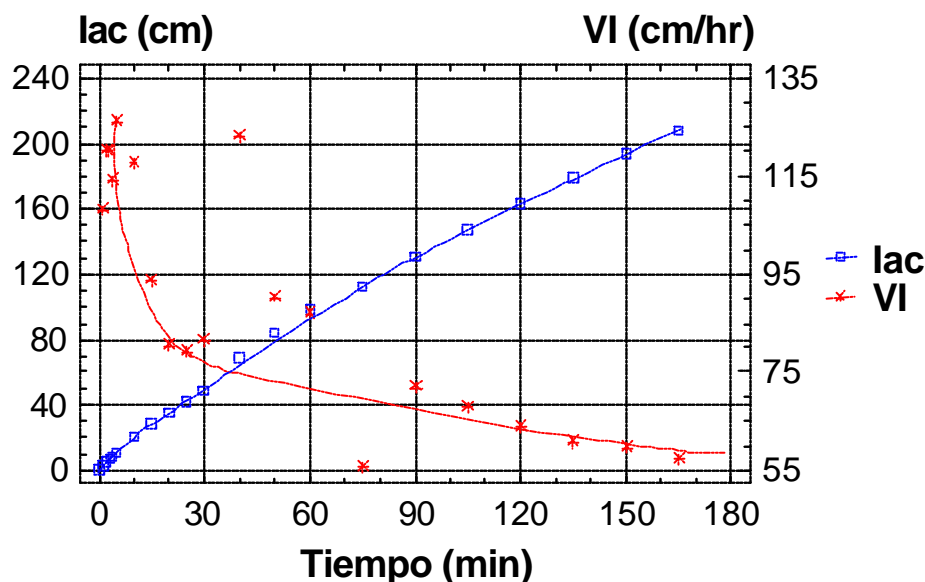


FIGURA 19: Representación grafica de velocidad de infiltración e infiltración acumulada del T3 (Goteo) realizada en mayo del 2004.

En el sector donde se ubica T3 presenta los valores más altos de velocidad de infiltración y de infiltración acumulada, llegando a 59.6 cm/hr y 192.5 cm. respectivamente a los 150 minutos (ANEXO 2). Debido a que este sector presenta mayor remoción del suelo producto de la preparación de este

encontrándose espacios libres en el primer horizonte, comportándose como un suelo de textura arenosa, lo cual lo hace que existan diferencias notorias en la capacidad de infiltración con respecto a T1 y T2 del lugar de estudio.

Con lo anterior planteado se puede concluir que existe una heterogeneidad de infiltración en el suelo del lugar de estudio, que puede deberse tanto por factores antrópicos como naturales.

4.3 Análisis Estadístico

A continuación se analizan los valores obtenidos de los incrementos entre diciembre y mayo, para las variables de estudio Diámetro a la Altura del Cuello (DAC), Altura Total (HT) e índice de Biomasa (IBIO) para cada uno de los tratamientos.

4.3.1 Diámetro a la Altura del Cuello (DAC)

En el cuadro 11 se presentan los medidores de tendencia central y de dispersión para cada uno de los tratamientos.

CUADRO 11: Resumen estadístico de la variable DAC (cm)

Indicadores	Microaspersión (T1)	Surco (T2)	Goteo (T3)
Media (cm)	3.63 b	4.15 a	3.37 c
CV (%)	15.01	13.40	18.62
Diferencia Mínima Significante	0.23 cm		

a,b,c: Los valores acompañados por distinta letra presentan diferencias estadísticas significativas al 95% de confianza.

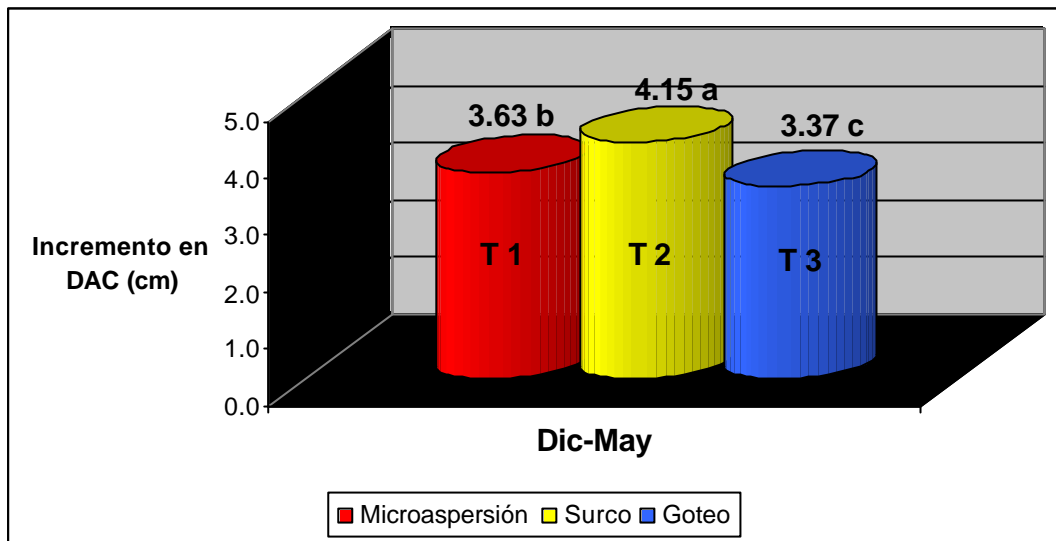


FIGURA 20: Grafico de medias de la variable DAC (cm) por tratamiento.

Como se observa en el cuadro 11 y el grafico de medias de la figura 20, el tratamiento que obtuvo un mayor crecimiento diametral es T2 con una media de 4.15 cm. superior en un 13% al tratamiento que lo sigue que es T1 el cual presenta una media de 3.63 cm. de DAC y un 19% superior a T3 que tiene 3.37 cm. DAC.

Con respecto a la variabilidad de la variable DAC el T3 presenta un mayor CV el cual se puede observar en el cuadro 11, demostrando una variabilidad medianamente alta que puede deberse al daño por heladas presente y por otro lado a un factor genético, ya que las plantas no están bajo situaciones de estrés por competencia entre plantas ni tampoco con malezas

De acuerdo con los resultados del Test de Fisher mediante la prueba de ANOVA del LSD no existen grupos homogéneos, encontrándose diferencias mínimas significantes entre cada tratamiento, donde el P-valor es menor a 0.05

rechazando H_0 y se encontraron diferencias mínimas significante superiores a 0.23 cm. (ANEXO 1).

Un estudio realizado por Montoya (2001) de *Eucalytus nitens* bajo riego por microaspersión obtiene un crecimiento aproximado a los 6 meses en DAC de 3 cm. (resulta al año 6 cm.) ubicado en la comuna de Mulchén VIII Región en un suelo arcillo limoso, en donde los resultados del T1 de esta tesis son 1.2 veces mayor durante el mismo periodo de tiempo. Las diferencias en crecimiento al año del establecimiento serían mínimas, teniendo en cuenta que *E. nitens* presenta tasas de crecimiento mayores que *E. globulus* que en este caso a los 6 meses no se vieron reflejadas estando ubicado los dos ensayos con características climáticas y físico hídricas del suelo similares.

Los resultados obtenidos por T2 son de 4.15 cm. de DAC siendo 1.4 veces superior a los obtenidos por Montoya y 7.8 veces superior a un estudio realizado por Cisterna (1999) en *E. globulus Labill* alcanzando un crecimiento en DAC después de 8 meses del establecimiento de 0.53 cm. bajo distintas frecuencias de riego por surco, ubicado en el Distrito de riego Digua comuna de Parral VII Región en un suelo franco arcilloso. En este caso las deferencias en crecimiento se deben a condiciones edafoclimaticas distintas entre ambos lugares de estudio.

Con respecto a las diferencias en crecimiento entre los tratamientos de este ensayo, el T3 que es riego por goteo obtiene los resultados mas bajos con respecto a esta variable, debido a que el agua que queda disponible no es capaz de compensar las pérdidas por evapotranspiración en los días de mayores temperaturas (enero) y poder satisfacer las necesidades hídricas de las plantas, que además presenta el sector donde esta ubicado una velocidad de infiltración alta de 59.6 cm/hr manifestando una alta permeabilidad del suelo comportándose como un suelo de textura arenosa, en donde este sistema de

riego por lo que plantea Pizarro (1996) el bulbo húmedo se desarrollo mucho en profundidad y poco en anchura, siendo insuficiente en el área de mojado, incidiendo directamente su capacidad de retención de humedad.

Por otro lado las diferencias entre el T1 riego por microaspersión y T2 riego por surco al año de establecimiento serán menores a las que se presentan en este estudio, en donde a futuro no existirán diferencias significantes formando un solo grupo.

4.3.2 Altura Total (HT)

Para este análisis se obtuvieron medidas de tendencia central y de dispersión, los que se presenta en el cuadro 12.

CUADRO 12: Resumen estadístico de la variable HT (m).

Indicadores	Microaspersión (T1)	Surco (T2)	Goteo (T3)
Media (m)	2.21 b	2.45 a	1.88 c
CV (%)	17.25	12.01	18.41
Diferencia Mínima Significante		0.14 m	

a,b,c: Los valores acompañados por distinta letra presentan diferencias estadísticas significativas al 95% de confianza.

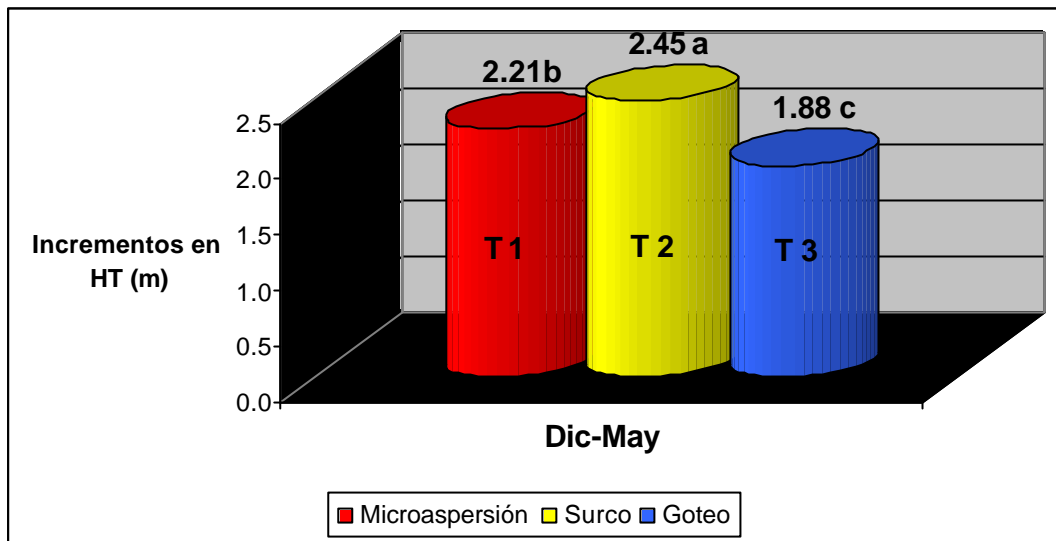


FIGURA 21: Grafico de medias de la variable HT (m) por tratamiento.

Como se observa en el cuadro 12 y la figura 21, el tratamiento que presenta una mayor respuesta frente al crecimiento de esta variable es T2 con una media de 2.45 m. superior en un 10% al tratamiento que lo sigue que es T1 con una media de 2.21 m. y un 23% por arriba del tratamiento T3 que presenta una media de 1.88 m de HT.

Con respecto a la variabilidad de la variable HT, el tratamiento T1 y T3 presentan un CV de 17.25% y 18.41% respectivamente, los cuales son medianamente altos que para el caso de T1 de microaspersión puede deberse a la genética de las plantas considerando que no existe competencia por agua ni nutrientes frente a la erradicación de malezas y en el caso del T3 de riego por goteo también se considera lo mismo, pero a la vez agregando los problemas por heladas que presentó.

De acuerdo con los resultados del Test de Fisher mediante la prueba de ANOVA del LSD no existen grupos homogéneos, encontrándose diferencias mínimas significantes entre cada tratamiento, donde el P-valor es menor a 0.05 rechazando H_0 y encontrando diferencias mínimas significantes superiores a 0.14 m. (ANEXO 1). Con el resultado de esta prueba se corrobora lo antes mencionado respecto a que los sistemas de riego en este ensayo si marcan un elemento diferenciador en el crecimiento de las plantas durante el primer periodo de crecimiento.

Los resultados obtenidos de los tres tratamientos de este ensayo superan a los alcanzados por Honeysett *et al.*, (1996) en *E. globulus* y *E. nitens* ubicado al sureste de Tasmania (Australia) bajo un sistema de riego por microaspersión en el cual se alcanzan incrementos anual corriente en altura durante el primer año de 1.22 m y 0.88 m respectivamente. Si comparamos los resultados de Honeysett respecto a *E. globulus* con los obtenidos en el T2 de microaspersión de este ensayo, resulta este último es 1.8 veces mayor en la mitad de tiempo que la experiencia antes mencionada.

Con respecto al T3 de riego por goteo obtuvo un crecimiento incremental en altura a los 3 meses de 0.94 m aproximadamente, el cual superior 1.5 veces a un estudio realizado por Gurovich *et. al* (1996) que alcanzó 0.6 m en el mismo período de tiempo, ubicado en San Andrés en la localidad de Negrete VIII Región en el cual se aplicaron distintas laminas de agua por medio de riego por goteo a *E. globulus*. El mismo estudio de Gurovich en el secano costero interior de la costa de la Región Metropolitana durante el primer período de 6 meses el mejor tratamiento obtiene 2 m de altura, el cual es superior 1.06 veces al que se logró en esta tesis con respecto a T3 riego por goteo durante igual período de tiempo, siendo este de 1.88 m lo que puede deberse a que las plantas de la Región Metropolitana no fueron expuestas a heladas y las de esta tesis si se vieron afectadas.

En el caso que se compare los resultados del T2 de riego por surco este último es 1.2 veces mayor al obtenido por Gurovich en la Región Metropolitana, concluyendo que bajo las condiciones de manejo (preparación de suelo, fertilización, control de maleza, tecnificación del riego, etc.) en que se realizó esta tesis logra mejores resultados que las experiencias antes mencionadas.

Con respecto a las medias obtenidas de los tres tratamientos, el tratamiento que obtuvo mejores resultados en crecimiento en HT es T2 de riego por surco y el que presenta resultados más bajos es T3 de riego por goteo. Estas diferencias entre tratamientos se deben además de las mencionadas anteriormente, a que las plantas del T3 se vieron afectadas por factores ambientales especialmente heladas, ya que en lugar donde se ubica este tratamiento se forma un bolsón de frío, incidiendo en el crecimiento de esta variable. Por otro lado las condiciones que resultaron para el T2 siguieron siendo favorables para el crecimiento de esta variable.

4.3.3 Índice de Biomasa (IBIO)

Para este análisis se obtuvieron indicadores de tendencia central y de dispersión, los que se presenta en el cuadro 13.

CUADRO 13: Resumen estadístico de la variable IBIO (cm³).

Indicadores	Microaspersión (T1)	Surco (T2)	Goteo (T3)
Media (cm³)	6263.50 b	7797.61 a	5098.14 c
CV (%)	37.68	33.19	46.23
Diferencia Mínima Significante	938.67 cm ³		

a,b,c: Los valores acompañados por distinta letra presentan diferencias estadísticas significativas al 95% de confianza.

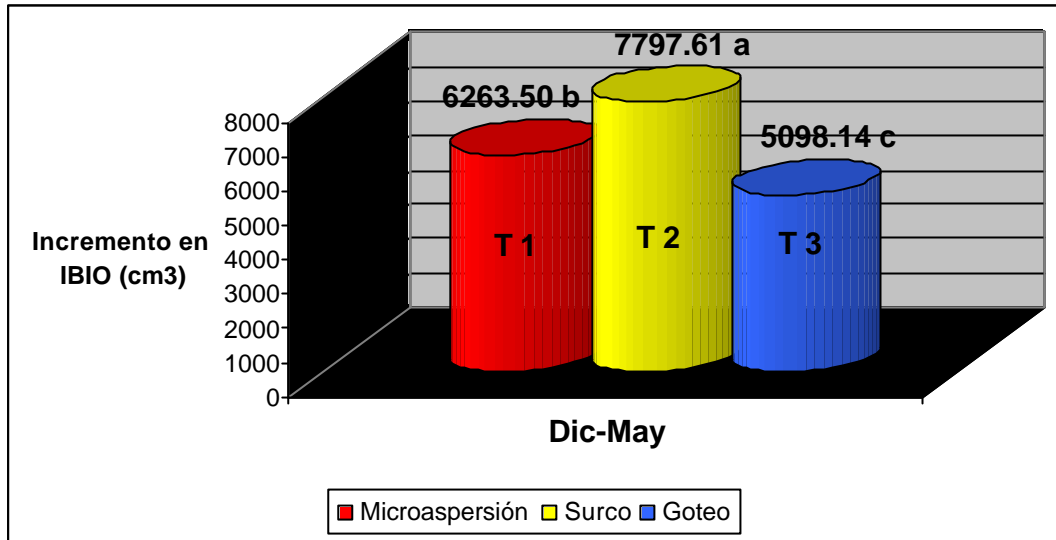


FIGURA 22: Grafico de medias de la variable IBIO (cm³).

Como se puede observar en el cuadro 13 y figura 22 el tratamiento T2 presenta un mayor crecimiento en IBIO de una media de 7797.61 cm³, considerando que esta variable integra a las variables DAC y HT, este tratamiento esta sobre un 20% al tratamiento T1 que presenta una media de 6263.50 cm³ y supera en un 35 % al tratamiento T3 que tiene una media de 5098.14 cm³.

Con respecto a las variables de dispersión presentadas en el resumen estadístico, todos los tratamientos presentan una variabilidad alta, teniendo en cuenta que no existe una competencia intraespecífica en el primer período de crecimiento y el factor genético de las plantas es el que diferencia su respuesta al medio.

De acuerdo con los resultados del Test de Fisher mediante la prueba de ANOVA del LSD no existen grupos homogéneos, encontrándose diferencias mínimas significantes entre cada tratamiento, donde el P-valor es menor a 0.05 rechazando H_0 y se encontraron diferencias mínimas significativas superiores a 938.67 cm^3 . (ANEXO 1).

Los tres tratamientos superan a los resultados obtenidos por Montoya (2001) con respecto a *E. nitens*, en donde el mejor tratamiento alcanza a los 6 meses de 4283 cm^3 aproximadamente (al año alcanza 8566 cm^3), en donde T1 riego por microaspersión es 31.6% mayor a lo obtenido por Montoya a los 6 meses bajo el mismo sistema de riego y similares características edafoclimáticas.

Al comparar el T2 con el resto de los tratamientos se mantiene el resultado obtenidos en las variables DAC y HT, donde el riego por surco logra las mejores respuestas, lo que se debe a que el largo del surco, es más bien experimental (20 m.) y no representa realidad operacional, ya que operacionalmente el agua que recorre el surco no llega en forma homogénea, existiendo una variabilidad en el crecimiento de las plantas desde la cabecera al final de este, lo cual no se ve reflejado en este estudio.

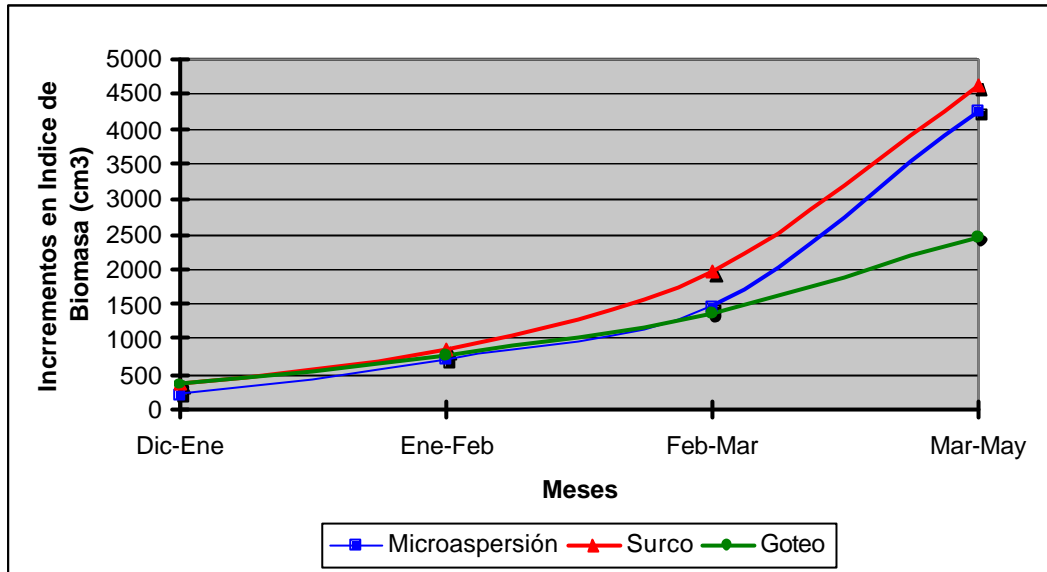


FIGURA 23: Grafico que muestra los crecimientos incrementales de biomasa mes a mes durante el período de evaluación.

Considerando la variable índice de biomasa (IBIO) como integradora del crecimiento tanto en diámetro como en altura, la figura 23 muestra el comportamiento del crecimiento incremental mes a mes durante el período de evaluación, donde gráficamente se observa desde comienzo del riego diciembre hasta febrero las curvas de los tres tratamientos presentan un comportamiento similar, diferenciándose en el incremento entre febrero-marzo donde el T2 presenta un ascenso notorio en crecimiento respecto a los otros tratamientos.

Es evidente la respuesta positiva en el crecimiento de las plantas en el primer periodo de crecimiento, ya que durante el verano las plantas se ven afectadas por las altas temperaturas y deficientes precipitaciones (ver figura 15) lo que se traduce en una alta pérdida por evapotranspiración y a la vez una alta demanda de agua durante el periodo de mayor actividad fisiológica, en donde el riego logra entregar el agua demandada siendo el T2 el que cumple de forma más satisfactoria los requerimientos hídricos de las plantas. Este tratamiento mantiene una tendencia en crecimiento superior a los demás después del riego, debido a que las plantas se desarrollaron de mejor forma logrando tener un mejor aprovechamiento del sitio.

Por otro lado T3 mantiene un crecimiento muy similar con T1 hasta febrero-marzo, el cual se ve limitado al llegar a los meses de marzo a mayo, los cuales coinciden con las llegadas de las primeras heladas y bajas temperaturas desfavoreciendo el crecimiento de las plantas, debido a lo sensible que es esta especie a tal fenómeno climático, lo cual se debe a como se explico anteriormente a la ubicación de este tratamiento donde se forma una especie de bolsón de frío, encontrándose desprotegido a diferencia de los otros tratamientos.

Durante el período marzo-mayo los tratamientos T1 y T2 presentan una menor diferencia en su crecimiento, de manera que más adelante no existirán diferencias significantes.

4.4 Análisis de Costos para cada Sistema de Riego

Este análisis se basa en presupuestos hechos para cada sistema de riego Microaspersión, Surco bajo conducción californiana y Goteo bajo las mismas condiciones y superficies, que para este caso fue de 1 há y una densidad de plantación de 1428 plantas/há, realizado por empresas que patrocinaron el proyecto Fondef D0111140 como Agrosystems, Cosmoplas y otras externas como Multicomercial Temuco Ltda. Para el caso de los costos de instalación se basó en la información entregada también por ambas empresas, siendo de 329 US\$/há para instalaciones hidráulicas y 246 US\$/há. para las eléctricas.

Por otro lado el costo de diseño según Barrientos (2000) es de un 5% del costo en equipos de riego e instalación de un sistema. Además se incluyeron los costos anuales, considerando costos anuales de operación para la funcionalidad de los sistemas de 8.2 US\$/jornada y los costos anuales de mantenimiento de un 2% del valor total de la inversión en equipos e instalaciones hidráulicas y en un 1% del valor de la instalación eléctrica (CIREN 111, 1996).

Se utilizó como moneda el dólar americano equivalente al cambio oficial del 20 de octubre del 2004 (US\$ = 608).

Los siguientes cuadros detallan los presupuestos para cada sistema abarcando los costos de equipos de riego, instalaciones hidráulicas y eléctricas, diseño, costos anuales de operación y mantenimiento.

CUADRO 14: Presupuesto para riego por microaspersión para 1 hectárea

ITEM	COSTO US\$
Equipo de riego	
- Línea de riego	1.828
- Red hidráulica	778
- Válvulas	784
- Centro de control	1.075
- Cableado	234
Subtotal	4.699
Instalación equipo de riego	
- Hidráulica	329
- Eléctrica	246
Subtotal	575
Diseño (5%)	264
Costos anuales	
- Costos anuales de operación (8.2 US\$/jornada)	98
- Costos anuales de mantenimiento (2% - 1%) ^{**}	101
Subtotal	463
TOTAL (SIVA)	6.312

(^{**}) El 2% se refiere del valor total de la inversión en equipos e instalaciones hidráulicas y el 1% del valor de la instalación eléctrica.

Al observar el cuadro 14 referente al ítem de costos de equipos de riego, la línea de riego que contempla desde el polietileno de 16 mm. hasta los emisores, presenta el mayor costo siendo un 29% del total, lo cual se debe al alto costo de los emisores (3 US\$ c/u), detallándose en el Anexo 3.

Los costos de instalación equivalen a un 9.1% del total y los anuales 7.3%, en donde los costos anuales de operación se basaron en un regador que cumple con 12 jornadas (una vez por semana) de trabajo en la temporada de riego que es de 3 meses.

CUADRO 15: Presupuesto para riego por surco con sistema californiano para 2 hectáreas

ITEM	COSTO US\$
Equipo de riego	
- Red hidráulica	1.325
- Válvulas y piezas especiales	1.635
- Centro de control	952
- Cableado	65
Sub-total	3.984
Instalación equipo de riego	
- Hidráulica	329
- Eléctrica	246
Sub-total	575
Diseño (5%)	228
Costos anuales	
- Costos anuales de operación (8.2 US\$/jornada)	738
- Costos anuales de mantenimiento (2% - 1%)**	88
Sub-total	1.054
TOTAL (S/IVA)	5.613

(**) El 2% se refiere del valor total de la inversión en equipos e instalaciones hidráulicas y el 1% del valor de la instalación eléctrica.

El presupuesto que muestra el cuadro 15 esta hecho para 2 hectáreas, ya que se diseño aproximadamente según las condiciones del lugar de estudio, en donde se contemplaron 33 surcos de 180 metros cada uno, que al llevarlo a costo por hectárea de riego es de 3.621US\$/há., reduciendo los costos de equipo de riego a la hectárea y los demás costos mantenerlos, ya que estos fueron sacados considerando solo una hectárea de riego.

En el ítem de equipo de riego la red hidráulica y válvulas y piezas especiales son las que presentan un mayor costo, siendo este último un 29% del total, debido a que la Tee hembra de 200 mm californiano con campana completa de 200 mm presenta un costo unitario de US\$ 40.20 (ver Anexo 3) y dependen del número de surcos, en donde a medida que se aumenta el largo y se disminuye el número de surcos, aumentan los rendimientos y bajan notablemente los costos de este sistema.

En el caso de aumentar el largo del surco a 340 metros según las características del suelo del lugar de estudio por lo que plantea L.J Booher, FAO (citado por CIREN 111, 1996) se lograrían regar 3.9 hectáreas disminuyendo considerablemente los costos del sistema, donde solo aumentarían los costos de instalación y los costos anuales, disminuyendo los costos de materiales por hectárea regada.

Los costos anuales de operación son más alto en este sistema de riego al compararlo con microaspersión y goteo, ya que el regador debe estar presente durante todo el tiempo que dure el riego para que pueda cumplirse la funcionalidad de este, lo que implica asumir un costo diario por toda la temporada de riego.

Debe tenerse en cuenta que en el caso de lugares muy planos sin pendiente transversal influyen en los costos de inversión inicial, ya que se necesitarían mayor número de sectores de riego para abarcar mayores superficies regadas aumentando los costos de operación y mantenimiento. Además, si el lugar a regar cuenta con presencia de micro relieve obliga a disminuir el largo de los surcos y bajar los rendimientos en cuanto superficie regada teniendo que incurrir en gastos para emparejar el terreno.

CUADRO 16: Presupuesto para riego por goteo para 1 hectárea

ITEM	COSTO US\$
Equipo de riego	
- Línea de riego	674
- Red hidráulica	778
- Válvulas	784
- Centro de control	1.075
- Cableado	234
Sub-total	3.545
Instalación equipo de riego	
- Hidráulica	329
- Eléctrica	246
Sub-total	575
Diseño (5%)	206
Costos anuales	
- Costos anuales de operación (8.2 US\$/jornada)	98
- Costos anuales de mantenimiento (2% - 1%)**	71
Sub-total	375
TOTAL (SIVA)	4.495

(**) El 2% se refiere del valor total de la inversión en equipos e instalaciones hidráulicas y el 1% del valor de la instalación eléctrica.

Para riego por goteo tal como muestra el cuadro 16 los costos del centro de control que consta con el equipo de bombeo, filtros, etc. representa los costos mas altos con un 23.9% del total, seguido de la red hidráulica y las válvulas que llegan a un 17.3% y 17.4% del total respectivamente.

Los costos de equipo de riego son los mas altos en un sistema de riego puesto en marcha llegando a ser mas de un 70% del total para cualquier sistema de riego que se quiera aplicar.

La ventaja de los sistemas de riego por goteo y microaspersión es que los costos anuales de operación son más bajos que surco, debido a que se necesita una menor supervisión por el regador para la funcionalidad del sistema.

De los tres sistemas estudiados surco con sistema californiano presenta el costo por hectárea mas bajo de 3.621 US\$/há, el cual es un 42.63% menor que microaspersión (6.312 US\$/há), siendo esta una diferencia superior a un presupuesto planteado por CIREN 111 (1996) que es de un 33.5% menor al hacer la misma comparación. Al comparar el costo por hectárea de riego en base a los presupuestos presentados en los cuadros 14 y 15 de surco con sistema californiano y goteo respectivamente presentan una diferencia de un 19.4%, resultando surco mas económico. Esta diferencia es un poco mas alta a la presentada por CIREN 111 (1996) que compara los mismos sistemas siendo el sistema californiano un 15.8% de menor costo que goteo.

Al comparar los costos por hectárea de riego entre sistemas mas tecnificados como es el caso de microaspersión y goteo, los cuadros 13 y 15 presentan los totales del presupuesto de dichos sistemas, en el que goteo presenta un 28.7% menor que microaspersión, en donde esta diferencia es mas alta a la presentada por CIREN 111 (1996) de un 20.9%, por lo que los costos de equipos de riego es el que incide directamente en esta diferencia, especialmente los emisores, ya que los microaspersores son mas de 4 veces mas caros que un gotero, incidiendo en la unidad de bombeo y red hidráulica.

En el caso de aumentar la superficie regada el costo por hectárea en cuanto a equipos de riego va disminuyendo según presupuesto hecho por la empresa Agrosystem lo cual se puede observar en cuadro 17. Un mayor detalle se puede observar en el Anexo 3.

CUADRO 17: Costo por hectárea según superficie para riego por goteo en cuanto a equipos de riego.

SUPERFICIE	US\$/HÁ
1 HÁ	3.545
1 HÁ de 20	1.600
1 HÁ de 30	1.456

De todas maneras a medida que se aumenta la superficie de riego los costos de instalación y los costos anuales también disminuyen por hectárea.

4.5 Evaluación de los sistemas de riego por sus resultados en crecimiento, análisis de costos y por sus características.

CUADRO 18: Caracterización de los sistema de riego.

Sistema de Riego	IBIO (m³/Há)	US\$/Há	Ventajas	Limitantes
Microaspersión	8.94	6.312	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia.80-85% - Sin restricciones topográficas. - Aplicaciones de fertilizantes. - Recomendable para suelos permeables. - Recomendables para problemas de salinidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado costo inicial. - Problemas fitosanitarios. - Al ser vistosos, riesgo de robos y vandalismo.
Surco bajo conducción californiano	11.13	3.621	<ul style="list-style-type: none"> - Evita enfermedades. - Necesita un 25 a 50 % de trabajo si se compara con riegos más tradicionales (sifones, acequias con tubos, mangas, etc.). - Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia 50-65% - Restricciones topográficas. - No es posible aplicar fertilizantes. - Pérdida de agua por evaporación. - No aplicable en suelos arenosos. - Lentitud del riego y alto uso de mano de obra.
Goteo	7.28	4.495	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia.80-90% - Aprovechamiento del agua. - Sin restricciones topográficas. - Aplicaciones de fertilizantes. - Menor infestación de malezas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bulbo insuficiente en suelos ligeros o de alta permeabilidad. - Riesgo de salinización (en aguas salinas). - Riesgo de obturaciones

El cuadro 18 hace una caracterización de los tres sistemas de riego estudiados en este ensayo, respecto al efecto en crecimiento, costos de instalación, ventajas y desventajas de cada sistema de riego del lugar de estudio

CUADRO 19: Criterio de ponderación para el crecimiento en m³/ha. y costos de instalación para cada sistema.

CRECIMIENTO	
Especificaciones	Ponderaciones
< 7.25 m ³ /ha	< 4.0
7.25 – 8.5 m ³ /ha	4.0 – 5.0
8.5 – 9.75 m ³ /ha	5.0 – 6.0
> 9.75 m ³ /ha	6.0 – 7.0
COSTOS	
Especificaciones	Ponderaciones
> 6.500 US\$/ha	< 4.0
6.500 – 5.100 US\$/ha	4.0 – 5.0
5.100 – 3.700 US\$/ha	5.0 – 6.0
< 3.700	6.0 – 7.0

Se desarrollo un sistema de ponderación para evaluar los resultados de crecimiento y los presupuestos realizados por las empresas antes mencionadas, donde cada ítem tiene un peso de un 30%.

CUADRO 20: Criterio de ponderación para la eficiencia de cada sistema.

EFICIENCIA	
Especificaciones	Ponderaciones
< 50%	< 4.0
50 – 65%	4.0 – 5.0
65 – 80%	5.0 – 6.0
> 80%	6.0 – 7.0

En el caso de la eficiencia de los sistemas se desarrollo un criterio de ponderación tal como presenta el cuadro 20. La manera de ponderación se baso en la información bibliográfica recopilada durante este estudio, considerando un peso del 20% del total.

CUADRO 21: Criterio de ponderación con respecto a la textura, topografía y supervisión de los sistemas.

CONSIDERACIONES GENERALES					
TEXTURA		TOPOGRAFÍA		SUPERVISIÓN	
Espec.	Ponder.	Espec.	Ponder.	Espec.	Ponder.
Gruesa o Fina	< 5.0	- Restricción pendiente	< 5.0	- Permanente (Todos los días).	< 5.0
Todo tipo de textura	> 5.0	- Sin restricción pendiente	> 5.0	- Esporádica (Una vez por semana).	> 5.0

En el caso de evaluar la aplicabilidad de un sistema según la textura del suelo, el cuadro 21 pondera bajo 5.0 aquellos sistemas de riego que presentan restricciones dependiendo de la textura del suelo, por ejemplo lo que menciona Pizarro (1996) sobre el desarrollo insuficiente del bulbo húmedo en suelos de textura ligera (arenoso) al utilizar riego por goteo, en donde por la alta velocidad de infiltración de estos suelos hacen que utilizar riego por surco tampoco sea recomendable (CIREN 111, 1996). En el caso de una ponderación sobre 5.0 aquellos sistemas que no tienen limitantes según la textura del suelo, en el cual microaspersión cumple con esta condición.

En cuanto a la topografía aquellos sistemas que presenten restricciones de pendiente se ponderaron bajo 5.0 como es el caso de riego por surco que no es recomendable en sectores con pendientes superiores a un 3% (Varas, 1991) y sobre 5.0 aquellos sistemas que no presentan restricciones por pendientes como es el caso de goteo y microaspersión como plantean varios autores.

Para el caso de supervisión se refiere a la mantención de los sistemas de riego para que tengan un funcionamiento expedito, como en caso de surco que necesita una supervisión continua para aplicar el agua de riego, en cambio goteo y microaspersión son sistemas mas sistematizados que solo presentan problemas de obturaciones durante su funcionamiento necesitando una supervisión esporádica. Para todos estos ítems (textura, topografía y supervisión) se aplicó un peso de un 20% del total.

En base a los cuadros de criterios de ponderación resulta el cuadro 22 que evalúa a los distintos sistemas de riego.

CUADRO 22: Evaluación de los sistemas de riego en base a los criterios de ponderación antes planteados.

Trat.	Crecimiento	Costos	Eficiencia	Consideraciones generales			Totales
				Textura	Topografía	Supervisión	
T1	5.5	4.1	6.0	6.0	6.5	6.0	5.3
T2	6.6	6.2	4.9	4.8	4.5	4.5	5.7
T3	4.1	5.2	6.4	5.0	6.5	6.0	5.2

El T2 de surco con sistema californiano resulta con la mayor ponderación 5.7, en donde sus resultados en crecimiento alcanzado por las plantas de *E. globulus* y los costos que implican a este sistema fueron los que incidieron en su resultado.

En el caso del T1 de microaspersión obtiene una ponderación final de un 5.3, siendo la ponderación obtenida en los costos que implican a este sistema los que de alguna manera incidieron en bajar la ponderación final, ya que en los demás ítem presentaba mejores ponderaciones.

El T3 es el que alcanza una menor ponderación de 5.1 cercana al T1, en la cual los resultados de los ítems crecimiento y costos inciden en su ponderación final, ya que presentaban un peso del 60% del total, en el cual T3 promedia entre ambos un 4.6 y el 40% restante no presenta mayor incidencia en el resultado final.

5. CONCLUSIONES

- El suelo presenta una baja retención de humedad debido al reducido HD y alta densidad aparente, características propias de un suelo franco limoso.
- En el sector donde se ubica T1 la velocidad de infiltración es baja llegando a 0.4 cm/hr producto de la compactación del terreno.
- En el sector donde se ubica T3 la velocidad de infiltración es alta llegando a comportarse como un suelo arenoso, debido a la remoción del suelo.
- Todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente tanto en las variables DAC, HT e IBIO formando tres grupos durante el primer período de crecimiento.
- El riego por surco con conducción californiana (T2) presenta los mejores resultados en crecimiento tanto en DAC, HT e IBIO bajo las condiciones edafoclimáticas del lugar de estudio.
- El resultado del T2 se debe a que el surco no representa la realidad operacional del funcionamiento de este sistema de riego.
- El T3 de riego por goteo presenta los resultados mas bajos en crecimiento tanto en las variables DAC, HT e IBIO al verse afectado por heladas.

- Las diferencias en crecimiento tanto para las variables DAC, HT e IBIO entre el T1 de microaspersión y T2 de surco serán mínimas en el segundo período de crecimiento de las plantas llegando a no existir diferencias significantes.
- El sistema que presenta un menor costo es el californiano llegando a 3.621 US\$/ha, siendo un 19.4% menor que goteo y un 42.63% mas bajo que microaspersión.
- El alto costo de los microaspersores encarece a este sistema.
- Los costos en equipos de riego se reducen en un sistema californiano al aumentar el largo del surco según las características edáficas del lugar y por ende mejora los rendimientos por superficie regada.
- Los costos en equipos de riego representan más de un 70% del costo total de un proyecto de riego puesto en marcha.
- Los costos anuales de operación en un sistema californiano son más altos que los otros sistemas estudiados, debido a la mayor supervisión para mantener la funcionalidad del sistema.
- Riego por surco con conducción californiana (T2) resulta el más recomendable con la mejor ponderación de 5.7 según los criterios planteados en este estudio, seguido por microaspersión (T1) con 5.3 y finalmente goteo (T3) con 5.2.

6 RESUMEN

El riego ha sido una herramienta fundamental en el primer periodo de crecimiento de las plantas, ya que logran excelentes resultados tanto en crecimiento en DAC (Diámetro a la Altura del Cuello), HT (Altura Total) e IBIO (Índice de Biomasa) que significara a futuro un mayor volumen de la plantación. En base a lo mencionado anteriormente el presente documento de tesis entrega información sobre sistemas de riego como lo son microaspersión, surco con conducción californiana y goteo tienen una incidencia significativa en la elección del método de riego a utilizar.

Para este estudio se realizó en un ensayo ubicado en Mulchén sector Casas Quemadas propiedad de Forestal y Agrícola Monte Águila S.A de empresas CMPC que presenta una temperatura anual promedio de 12.4 °C, precipitación anual de 1083.2 mm y un suelo de textura franco limoso. Para realizar dicho estudio se realizó un diseño en bloques al azar con 3 tratamientos por el proyecto Fondef D0111140, siendo T1 = microaspersión, T2 = surco con conducción californiana y T3 = goteo, los que presentaron 3 repeticiones con parcelas de 16 plantas medibles y 24 plantas búfer. En donde se estudiaron el incremento en crecimiento de las variables DAC, HT e IBIO durante el primer periodo de crecimiento (6 meses), además se realizó una caracterización físico-hídrica del lugar de estudio y por último un análisis de costos de cada sistema de riego.

Los resultados obtenidos de todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente, comprobándose que T2 es el más recomendable para el lugar de estudio según sus características edafoclimáticas, obteniendo en este un mayor crecimiento en DAC, HT e IBIO y además un menor costo que llega a un 42.63% mas bajo que microaspersión y 19.4% que goteo.

7 SUMMARY

The irrigation has been a fundamental tool in the first period of growth of the plants, since they achieve excellent results so much in growth in DAC (Diameter at a height of the Neck), HT (Total Height) and IBIO (Index of Biomass) that was meaning to future a major volume of the plantation. On the basis of the mentioned previously the present document of thesis delivers information about systems of irrigation since it they are microsprinklers, furrow with Californian conduction and dripping has a significant incidence in the irrigation method to use.-

For this study sector was realized in a essay located in Mulchén Burnt Houses property of Forest and Agricultural Monte Águila S.A of companies CMPC who presents an annual temperature I mediate of 12.4 °C, annual rainfall of 1083.2 mm and a soil of texture loam Franc. To realize the above mentioned study a design was realized in blocks at random with 3 treatments by the project Fondef D0111140, being T1 = microsprinklers, T2 = furrow with Californian conduction and T3 = dripping, which presented 3 repetitions with plots of 16 measurable plants and 24 plants búfer. In where the increase was studied in growth of the variables DAC, HT and IBIO during the first period of growth (6 months), besides I realize a characterization físicohídrica of the place of study and finally an analysis of costs of every system of irrigation.

The results obtained of all the treatments differed statistically, being verified that T2 is the most advisable for the place of study according to his characteristics edafoclimáticas, obtaining in this major growth in DAC, HT and IBIO and besides a minor cost that comes to 58.94 % but under that micros sprinklers and 7.15 % that dripping.

8 BIBLIOGRAFIA

Barrientos. C. 2000. Manual de Pequeñas obras de Riego. Departamento de Riego de INDAP.

CIREN 111. 1996. Manual de obras menores de riego. Santiago, Chile.

Cisterna, O. 1999. Efectos de distintas frecuencias de riego en la supervivencia de *Eucalyptus globulus* Labill spp. *Globulus*, en los suelos arroceroz, VII Región. Tesis, Ingeniero Forestal. Concepción. Universidad de Concepción de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.16p.

Comisión Nacional de Riego. 2002. Ley 18.450.

Davies, W., Metcalfe, J. y Pereira, J. 1989. Effects of water déficit on leaf growth and initiation in fase-growing tree species. *Annales Des Sciences Forestieres. Tree Physsiology*, 366-368.

De Juan Valer, J., y Martín de Santa Ollala, f. 1993. El estrés hídrico en las plantas. En: *Agronomía del Riego*. Universidad de Castilla. Mundi-Prensa. España.

Donahue Roy; Milles Raymond; Schicklumo John, 1987. *Introducción a los suelos y crecimiento de las Plantas*.

Donoso, C. 1992. *Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente*. Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.

Fuentes, J. 1996. Curso de riego para regantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General Técnica. Mundi-prensa. Madrid, España.

Gurovich Z. Luis A. 1997. Riego Superficial Tecnificado: Un libro de texto para la Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Ediciones Universidad Católica de Chile.

Honeysett, J., Whithe, D Worledge D. y Beadle, C.1996. Growth and water use of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* in irrigated and rainfed plantations. Australian Forestry, 89:64-72.

Honorato, R. 1994. Manual de Edafología. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía, Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Holzapel, Eduardo. Agosto 1993. Curso "Internacional de Riego y Drenaje". Edición INIA, Estación Experimental Carillanca. Serie Carillanca N° 34.

INIA, VINILIT S.A. 2001. Sistema de Conducción y Distribución de Agua Tipo Californiano Fijo para Huertos Frutales Parronales.

INIA, Carillanca. "Curso Internacional de Riego y Drenaje".

Jara, J., y Valenzuela, A. Febrero 1998. Necesidades de agua de los Cultivos.

Medina S., y Jose A., 1997. Riego por Goteo. Cuarta Edición. Ediciones Mundi-prensa. España.

Montoya, S.F.2001. Mejoramiento de la productividad de *E. nitens* Maiden al primer año de establecimiento a través del riego y fertilización en un suelo rojo arcilloso del valle central de la VIII Región Mulchén. Tesis, Ingeniero Forestal. Temuco. Escuela de ciencias Forestales. Universidad Católica de Temuco.

Peralta José M, 2002. "Buenas Practicas de Riego", Artículo Extraído de Revista "Chile Riego". Numero 12 del 2002.

Pereira, J., Linder, S., Araújo, M., Pereira, H., Ericsson, T., Borralho, N. y Leal, L. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* a case study. En: Biomass production by fast growing trees. (Pereira, J. y Landsberg, J., eds). Kluwer Academic Publishers. P 101-102.

Pizarro, J. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. Mundi-Prensa. España.

Prado, J. y Barros, S. 1989. Eucalyptus, principios de silvicultura y manejo. INFOR. CORFO Santiago, Chile. 199p.

Proyecto Fondef D97I2004, 1997. Universidad de Concepción y Fundación Chile. Evaluación de Alternativas Tecnológicas para el Establecimiento de Plantaciones Forestal a gran escala en el Secano Interior de las Regiones VI, VII y VIII.

Proyecto Fondef D01I1140, 2002. Universidad Católica de Temuco. Desarrollo de Sistemas de Riego destinados a Aumentar la Productividad en eucalipto. Protocolo Técnico de experimentación.

Santelices, R., Bobadilla, J.C. y Valenzuela, S. 1995. Efecto del Riego en el establecimiento de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill realizada en primavera. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Ingeniería de Ejecución Forestal. Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

Tosso, J., 1985. Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de investigación Agropecuaria. Santiago. Chile.

Withers, B y Vipond, S. 1986. El Riego: Diseño y Práctica. Editorial Diana. México.

Anexo 1: Salidas Statgraphics Pluss 5.1 para las pruebas de estadísticas descriptiva, análisis de varianza y prueba LSD.

Diámetro a la Altura de l Cuello (DAC)

Resumen Estadístico para DAC

Variable dependiente: DAC
 Factor: TRAT
 Número de observaciones: 144
 Número de niveles: 3

TRAT	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo	Máximo
1	48	3,6375	0,298138	0,54602	2,1	4,8
2	48	4,15208	0,309357	0,556199	3,0	5,0
3	48	3,37375	0,394909	0,628418	2,2	5,1
Total	144	3,72111	0,434655	0,659283	2,1	5,1

Tabla ANOVA para DAC según TRAT

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	15,0426	2	7,5213	22,51	0,0000
Intra grupos	47,113	141	0,334135		
Total (Corr.)	62,1556	143			

Contraste Múltiple de Rango para DAC según TRAT

Método: 95,0 porcentaje LSD						
TRAT	Frec.	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencias	+/-
Límites						
3	48	3,37375	X	1 – 2	*-0,514583	
1	48	3,6375	X	1 – 3	*0,26375	
2	48	4,15208	X	2 – 3	*0,778333	

* indica una diferencia significativa

Altura Total (HT)

Resumen Estadístico para HT

Variable dependiente: HT

Factor: TRAT

Número de observaciones: 144

Número de niveles: 3

TRAT	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo	Máximo
1	48	2,22302	0,147072	0,3835	1,06	2,91
2	48	2,45469	0,0870589	0,295058	1,76	3,09
3	48	1,88231	0,120111	0,346571	1,15	2,835
Total	144	2,18667	0,172078	0,414823	1,06	3,09

Tabla ANOVA para HT según TRAT

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	7,95784	2	3,97892	33,70	0,0000
Intra grupos	16,6494	141	0,118081		
Total (Corr.)	24,6072	143			

Contraste Múltiple de Rango para HT según TRAT

Método: 95,0 porcentaje LSD

TRAT	Frec.	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencias	+/-
3	48	1,88231	X	1 – 2	*-0,231667	
1	48	2,22302	X	1 – 3	*0,340708	
2	48	2,45469	X	2 – 3	*0,572375	

* indica una diferencia significativa

Índice de Biomasa (IBIO)

Resumen Estadístico para IBIO

Variable dependiente: IBIO

Factor: TRAT

Número de observaciones: 144

Número de niveles: 3

TRAT	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo	Máximo
1	48	6263,5	5,5717E6	2360,44	923,549	12568,3
2	48	7797,61	6,69994E6	2588,42	2816,0	13703,9
3	48	5098,14	5,55409E6	2356,71	2037,41	12520,6
Total	144	6386,42	7,08943E6	2662,6	923,549	13703,9

Tabla ANOVA para IBIO según TRAT

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	1,75979E8	2	8,79896E7	14,81	0,0000
Intra grupos	8,37809E8	141	5,94191E6		
Total (Corr.)	1,01379E9	143			

Contraste Múltiple de Rango para IBIO según TRAT

Método: 95,0 porcentaje LSD

TRAT	Frec.	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencias	+/- Límites
3	48	5098,14	X	1 - 2	*-1534,11	983,671
1	48	6263,5	X	1 - 3	*1165,36	983,671
2	48	7797,61	X	2 - 3	*2699,47	983,671

* indica una diferencia significativa

Anexo 2: Propiedades hídricas del suelo del lugar de estudio.

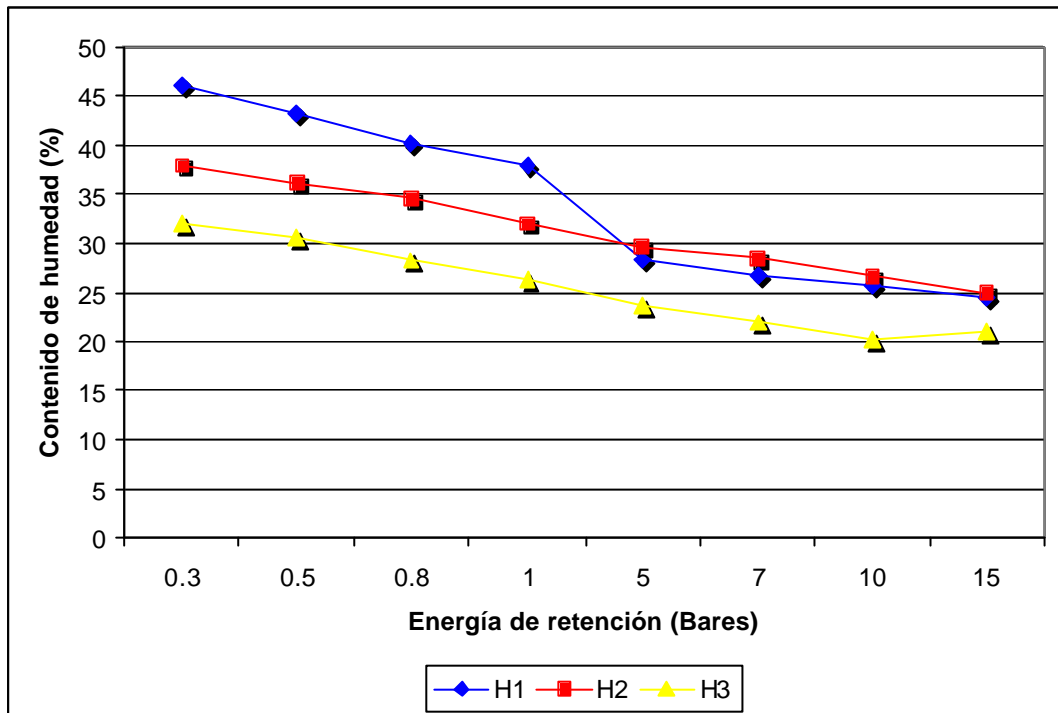


FIGURA 24: Curva de retención de humedad del lugar de estudio.

FUENTE: Leovigildo Medina, Fondof D0111140.

Velocidad de infiltración e infiltración acumulada según tratamiento

?? **Sector donde se ubica T1 (microaspersión)**

CUADRO 23: Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros para T1.

Lectura	Tiempo (min.)	HT del cilindro (cm.)	?T (min.)	?H (cm.)	Iac (cm.)	VI (cm./hr)
1	0	35				
2	1	34.9	1	0.1	0.1	6
3	2	34.8	1	0.1	0.2	6
4	3	34.7	1	0.1	0.3	6
5	4	34.6	1	0.05	0.35	3
6	5	34.6	1	0.05	0.4	0.6
7	10	34.5	5	0.1	0.5	1.2
8	15	34.5	5	0.1	0.6	1.2
9	20	34.4	5	0.1	0.7	1.2
10	25	34.4	5	0.1	0.8	1.2
11	30	34.3	5	0.1	0.9	1.2
12	40	34.2	10	0.05	0.95	0.3
13	50	34.1	10	0.15	1.1	0.9
14	60	34	10	0.1	1.2	0.6
15	75	33.9	15	0.1	1.3	0.4
16	90	33.8	15	0.1	1.4	0.4
17	105	33.7	15	0.1	1.5	0.4
18	120	33.5	15	0.2	1.7	0.8

?? **Sector donde se ubica T2 (surco con conducción californiana)**

CUADRO 24: Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros para T2.

Lectura	Tiempo (min.)	HT del cilindro (cm.)	?T (min.)	?H (cm.)	lac (cm.)	VI (cm./hr)
1	0	35				
2	1	34.8	1	0.2	0.2	12
3	2	34.7	1	0.1	0.3	6
4	3	34.6	1	0.1	0.4	6
5	4	34.3	1	0.3	0.7	18
6	5	34.1	1	0.2	0.9	12
7	10	33.4	5	0.7	1.6	8.4
8	15	33.3	5	0.1	1.7	1.2
9	20	33	5	0.3	2.0	3.6
10	25	32.7	5	0.3	2.3	3.6
11	30	32.3	5	0.4	2.7	4.8
12	40	31.8	10	0.5	3.2	3.0
13	50	31.3	10	0.5	3.7	3.0
14	60	30.8	10	0.5	4.2	3.0
15	75	29.8	15	1.0	5.2	4.0
16	90	28.9	15	0.9	6.1	3.6
17	105	28	15	0.9	7.0	3.6
18	120	27.4	15	0.6	7.6	2.4

?? **Sector donde se ubica T3 (goteo)**

CUADRO 25: Registro para la determinación de infiltración del suelo por medio del método cilindros infiltrómetros para T3.

Lectura	Tiempo (min.)	HT del cilindro (cm.)	?T (min.)	?H (cm.)	Iac (cm.)	VI (cm./hr)
1	0	35				
2	1	33.2	1	1.8	1.8	108
3	2	31.2	1	2.0	3.8	120
4	3	29.2	1	2.0	5.8	120
5	4	27.3	1	1.9	7.7	114
6	5	25.2 (35)	1	2.1	9.8	126
7	10	27.2 (35)	5	9.8	19.6	117.6
8	15	28.3 (35)	5	7.8	27.4	93.6
9	20	27.9	5	6.7	34.1	80.4
10	25	21.3	5	6.6	40.7	79.2
11	30	14.5 (35)	5	6.8	47.5	81.6
12	40	20 (35)	10	20.5	68	123
13	50	20.5 (35)	10	15.0	83	90
14	60	21.1 (35)	10	14.5	97.5	87
15	75	17 (35)	15	13.9	111.4	55.6
16	90	18 (35)	15	18.0	129.4	72
17	105	19 (35)	15	17.0	146.4	68
18	120	19.8 (35)	15	16.0	162.4	64
19	135	20.1 (35)	15	15.2	177.6	60.8
20	150	20.7 (35)	15	14.9	192.5	59.6
21	165	23 (35)	15	14.3	206.8	57.2

Anexo 3: Detalle de costos de implementación.

Riego por microaspersión para 1 ha



MULTICOMERCIAL TEMUCO LTDA.
Materiales de Riego Proyectos
Distribuidora Comercial e Industrial

COTIZACION N° 2854

Fecha: 13/08/04

CUADRO 26: Presupuesto de materiales para riego por microaspersión realizado por Multicomercial Temuco Ltda.

ITEM	Cantidad	Valor S/IVA	Valor Total
Electrobomba reggio sexteam stn 32/200c	1	357.200	357.200
Cable eléctrico thhn n°16 dif/colores	500	127	63.500
Cable eléctrico thhn n°8 dif/colores	200	394	78.800
Tablero eléctrico 7.5 HP	1	211.440	211.440
Programador 8 estaciones Nelson ext.	1	137.320	137.320
Válvulas selenoides 1 ½"	6	69.306	415.836
Válvulas pie c/acero 2"	1	6.500	6.500
Válvulas compuertas 2 ½"	3	10.448	31.344
Válvulas de aire 2" aluminio	2	11.500	23.000
Tubería de PVC conduit 25 mm	30	1.439	43.170
Tubería de PVC 75 mm C-10	30	9.957	298.710
Tubería de PVC 40 mm C-10	34	3.423	116.382
Polietileno lineal 16 mm	2800	70	196.000
Microaspersor Dan modular 43 l/h café	1428	641	915.348
Tee PVC 75 mm	8	1.852	14.816
Reducción larga 75x40 mm	6	682	4.092
Tee PVC 40 mm	6	286	1.716
Codos de PVC 40 mm	24	199	4.776
THE PVC 50 mm	12	252	3.024
Reducción 50x40 mm	12	148	1.776
THI PVC 40 mm	12	348	4.176
Tapa tornillo HE 1 ¼"	12	146	1.752
Reducción 75x63 mm	2	971	1.942
Tee PVC 63 mm	2	1.533	3.066
Codos PVC 63 mm	4	1.057	4.228
Filtros malla 2" 120 Mesh	2	36.198	72.396
Goma gromit	60	55	3.300
Conector gromit	60	55	3.300
THI PVC 63 mm	4	1460	5.840
TOTAL S/IVA			3.024.750

Riego por surco con conducción californiana para 2 ha



MULTICOMERCIAL TEMUCO LTDA.
Materiales de Riego Proyectos
Distribuidora Comercial e Industrial

COTIZACION Nº 2855

Fecha: 13/08/04

CUADRO 27: Presupuesto de materiales para riego por surco bajo conducción californiana realizado por Multicomercial Temuco Ltda.

ITEM	Cantidad	Valor S/IVA	Valor Total
Electrobomba reggio sexteam stn 32/200c	1	357.200	357.200
Tubería PVC agrícola 200 mm	25	22.463	561.575
Tubería PVC hidr. 75 mm c-6	34	7.176	243.984
Campana 200 mm completa	33	3.977	131.241
Tee hembra / hembra 200 mm calif.	33	20.465	675.345
Válvulas selenoides 3"	2	93.883	187.766
Programador 4 est. ext. m/8574	1	97.200	97.200
Tablero monofasico	1	129.330	129.330
Cable eléctrico prt nº 16 2 colores	400	98	39.200
TOTAL S/IVA			2.422.841

Riego por goteo para 1 ha



MULTICOMERCIAL TEMUCO LTDA.
Materiales de Riego Proyectos
Distribuidora Comercial e Industrial

COTIZACION N° 2854

Fecha: 13/08/04

CUADRO 28: Presupuesto de materiales para riego por goteo realizado por Multicomercial Temuco Ltda.

ITEM	Cantidad	Valor S/IVA	Valor Total
Electrobomba reggio sexteam stn 32/200c	1	357.200	357.200
Cable eléctrico thhn n°16 dif/colores	500	127	63.500
Cable eléctrico thhn n°8 dif/colores	200	394	78.800
Tablero eléctrico 7.5 HP	1	211.440	211.440
Programador 8 estaciones Nelson ext.	1	137.320	137.320
Válvulas selenoides 1 ½"	6	69.306	415.836
Válvulas pie c/acero 2"	1	6.500	6.500
Válvulas compuertas 2 ½"	3	10.448	31.344
Válvulas de aire 2" aluminio	2	11.500	23.000
Tubería de PVC conduit 25 mm	30	1.439	43.170
Tubería de PVC 75 mm C-10	30	9.957	298.710
Tubería de PVC 40 mm C-10	34	3.423	116.382
Polietileno lineal 16 mm	2800	70	196.000
Gotero boton 4 l/h Ado-4 autoc	1428	150	214.200
Tee PVC 75 mm	8	1.852	14.816
Reducción larga 75x40 mm	6	682	4.092
Tee PVC 40 mm	6	286	1.716
Codos de PVC 40 mm	24	199	4.776
THE PVC 50 mm	12	252	3.024
Reducción 50x40 mm	12	148	1.776
THI PVC 40 mm	12	348	4.176
Tapa tornillo HE 1 ¼"	12	146	1.752
Reducción 75x63 mm	2	971	1.942
Tee PVC 63 mm	2	1.533	3.066
Codos PVC 63 mm	4	1.057	4.228
Filtros malla 2" 120 Mesch	2	36.198	72.396
Goma gromit	60	55	3.300
Conector gromit	60	55	3.300
THI PVC 63 mm	4	1460	5.840
TOTAL S/IVA			2.323.602

Riego por goteo para 20 ha



Agrosystems S.A

Cotización N° 4190

Fecha: 28/07/2004

CUADRO 29: Presupuesto de materiales para riego por goteo para 20 ha.
realizado por la empresa Agrosystems S.A.

Item	Unid.	Cant.	Precio Unit. \$	Total \$
Tubo C-4 125 mm. PVC	c/u	74	13.837	1.023.938
Tubo C-4 110 mm. PVC	c/u	85	10.831	920.635
Tubo C-4 90 mm. PVC	c/u	25	7.217	180.425
Tubo C-4 75 mm. PVC	c/u	90	5.984	538.560
Tubo C-6 63 mm. PVC	c/u	102	5.235	533.970
Tubo C-6 50 mm. PVC	c/u	87	3.820	332.340
Tubo C-6 40 mm. PVC	c/u	107	3.019	323.023
Tubo C-10 32 mm. PVC	c/u	32	2.385	76.320
Polietileno 16 mm. X 1.2 mm.	m	60.000	70	4.200.000
Conector gromit 16 mm.	c/u	1.000	36	36.000
Goma gromit 16 mm. caucho	c/u	1.000	61	61.000
Copla 16 mm. P.P.	c/u	1.000	32	32.000
Tee 16 mm. P.P.	c/u	300	61	18.300
Remates línea gotero 16 mm.	c/u	1.000	28	28.000
Curva 32 mm. cem. PVC	c/u	1	142	142
Curva 50 mm. cem. PVC	c/u	1	395	395
Curva 63 mm. cem. PVC	c/u	1	729	729
Curva 75 mm. cem. PVC	c/u	1	1.180	1.180
Curva 90 mm. cem. PVC	c/u	3	2.090	6.270
Curva 140 mm. cem. PVC	c/u	2	7.750	15.500
Curva 45° 140 mm. cem. PVC	c/u	1	6.190	6.190
Reducción larga 110x 90 mm. PVC.	c/u	5	1.450	7.250
Reducción larga 125x 90 mm. PVC	c/u	1	1.845	1.845
Reducción larga 125x 110 mm. PVC	c/u	1	2.290	2.290

Reducción larga 140x 110 mm. PVC	c/u	1	2.590	2.590
Reducción larga 140x 125 mm. PVC	c/u	2	2.319	4.638
Reducción larga 63x 40 mm. PVC	c/u	2	405	810
Reducción larga 40x 32 mm. PVC	c/u	2	109	218
Reducción larga 63x 50 mm. PVC	c/u	2	340	680
Reducción larga 75x 50 mm. PVC	c/u	2	700	1.400
Reducción larga 75x 63 mm. PVC	c/u	1	619	619
Reducción larga 90x 63 mm. PVC	c/u	8	1.113	8.904
Reducción larga 63x 50 mm. PVC	c/u	1	340	340
Reducción larga 90x 75 mm. PVC	c/u	4	942	3.678
Tee 110 mm PVC.	c/u	3	3990	11.970
Tee 125 mm PVC.	c/u	1	13390	13.390
Tee 140 mm PVC.	c/u	1	22.990	22.990
Tee 90 mm PVC.	c/u	6	2.790	16.740
Tapagorro 75 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	1	1.150	1.150
Tapagorro 63 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	3	641	1.923
Tapagorro 50 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	2	225	450
Tapagorro 32 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	2	85	170
Manómetro de glicerina 0-6 bares	c/u	2	7.590	15.180
Filtro 4" autoflush metal brida 130 micron	c/u	1	766.990	766.990
Electr. 3" S-400 metal angulo BSP	c/u	10	197.990	1.979.900
Ventosa doble propósito 2" plástica BSP	c/u	3	92.990	278.970
Válvula de retención 6 Duo Chrck	c/u	1	155.990	155.990
Válvula mariposa 6" wafer metálica Lever	c/u	1	73.690	73.690
Bomba 7.5 HP Vogt H618 380V Cpo. Rod.	c/u	1	850.000	850.000
Fitting instalación filtro aprox.	c/u	1	300.000	300.000
Fitting de succión bomba aprox.	c/u	1	500.000	500.000
Programador 12 est. Irritrol Tc exterior	c/u	1	184.990	184.990
Tablero eléctrico 7.5 HP 12 est	c/u	1	731.900	731.900
Gotero boton 4 l/h Ado-4 autoc.	c/u	28.560	150	4.284.000
Neto \$				18.560.672
IVA \$				3.526.528
Total \$				22.087.200

Riego por goteo para 30 ha



Agrosystems S.A

Cotización Nº 4190

Fecha: 28/07/2004

CUADRO 30: Presupuesto de materiales para riego por goteo para 30 ha.
realizado por la empresa Agrosystems S.A.

Item	Unid.	Cant.	Precio Unit. \$	Total \$
Tubo C-4 125 mm. PVC	c/u	111	13.837	1.535.907
Tubo C-4 110 mm. PVC	c/u	128	10.831	1.386.368
Tubo C-4 90 mm. PVC	c/u	38	7.217	274.246
Tubo C-4 75 mm. PVC	c/u	135	5.984	807.840
Tubo C-6 63 mm. PVC	c/u	153	5.235	800.955
Tubo C-6 50 mm. PVC	c/u	131	3.820	500.420
Tubo C-6 40 mm. PVC	c/u	161	3.019	486.059
Tubo C-10 32 mm. PVC	c/u	48	2.385	114.480
Polietileno 16 mm. X 1.2 mm.	m	90.000	70	6.300.000
Conector gromit 16 mm.	c/u	1.500	36	54.000
Goma gromit 16 mm. caucho	c/u	1.500	61	91.500
Copla 16 mm. P.P.	c/u	1.500	32	48.000
Tee 16 mm. P.P.	c/u	450	61	27.450
Remates línea gotero 16 mm.	c/u	1.500	28	42.000
Curva 32 mm. cem. PVC	c/u	2	142	284
Curva 50 mm. cem. PVC	c/u	2	395	790
Curva 63 mm. cem. PVC	c/u	2	729	1.458
Curva 75 mm. cem. PVC	c/u	2	1.180	2.360
Curva 90 mm. cem. PVC	c/u	5	2.090	10.450
Curva 140 mm. cem. PVC	c/u	3	7.750	23.250
Curva 45° 140 mm. cem. PVC	c/u	2	6.190	12.380
Reducción larga 110x 90 mm. PVC.	c/u	8	1.450	11.600
Reducción larga 125x 90 mm. PVC	c/u	2	1.845	3.690

Reducción larga 125x 110 mm. PVC	c/u	2	2.290	4.580
Reducción larga 140x 110 mm. PVC	c/u	2	2.590	5.180
Reducción larga 140x 125 mm. PVC	c/u	3	2.319	6.957
Reducción larga 63x 40 mm. PVC	c/u	3	405	1.215
Reducción larga 40x 32 mm. PVC	c/u	3	109	327
Reducción larga 63x 50 mm. PVC	c/u	3	340	1.020
Reducción larga 75x 50 mm. PVC	c/u	3	700	2.100
Reducción larga 75x 63 mm. PVC	c/u	2	619	1.238
Reducción larga 90x 63 mm. PVC	c/u	12	1.113	13.356
Reducción larga 63x 50 mm. PVC	c/u	6	340	680
Reducción larga 90x 75 mm. PVC	c/u	5	942	5.652
Tee 110 mm PVC.	c/u	2	3.990	19.950
Tee 125 mm PVC.	c/u	2	13.390	26.780
Tee 140 mm PVC.	c/u	9	22.990	45.980
Tee 90 mm PVC.	c/u	2	2.790	25.110
Tapagorro 75 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	5	1.150	2.300
Tapagorro 63 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	3	641	3.205
Tapagorro 50 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	3	225	675
Tapagorro 32 mm. PVC iny. Cem imp.	c/u	2	85	25
Manómetro de glicerina 0-6 bares	c/u	1	7.590	15.180
Filtro 4" autoflush metal brida 130 micron	c/u	15	766.990	766.990
Electr. 3" S-400 metal angulo BSP	c/u	3	197.990	2.969.850
Ventosa doble propósito 2" plástica BSP	c/u	1	92.990	278.970
Válvula de retención 6 Duo Chrck	c/u	1	155.990	155.990
Válvula mariposa 6" wafer metálica Lever	c/u	1	73.690	73.690
Bomba 7.5 HP Vogt H618 380V Cpo. Rod.	c/u	1	850.000	850.000
Fitting instalación filtro aprox.	c/u	1	300.000	300.000
Fitting de succión bomba aprox.	c/u	1	500.000	500.000
Programador 12 est. Irritrol Tc exterior	c/u	1	214.990	214.990
Tablero eléctrico 7.5 HP 12 est	c/u	1	731.900	731.900
Gotero boton 4 l/h Ado-4 autoc.	c/u	42.840	150	6.426.000
Neto \$				25.985.607
IVA \$				4.937.265
Total \$				30.922.872