



**SERVICIO DE PROGRAMACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL
USO DEL AGUA DE RIEGO, SEPOR**

**ÁREAS REGADAS DEL RÍO CACHAPOAL, (2^a
SECCIÓN), VI REGIÓN, Y MAULE NORTE Y
LONGAVÍ, VII REGIÓN**

INFORME FINAL

2010

**Centro de Investigación y Transferencia en Riego y
Agroclimatología (CITRA)
Universidad de Talca**

Equipo de Trabajo CITRA-SEPOR

Ing. Agr. M.S. Ph.D. Samuel Ortega Farías - Director proyecto SEPOR

Ing. Agr. Mg. Ing. Eugenio Rodríguez Herrera - Director alterno proyecto SEPOR

Ing. Agr. Mg. Dr. (C) Marcos Carrasco Benavides – Investigador Asistente y Coordinador

Ing. Agr. Rodrigo Morales Zárate – Transferencia Tecnológica e Investigador Asistente

Ing. Agr. Mg. (C) Sebastián Juillerat Oliva – Transferencia Tecnológica e Investigador Asistente

Ing. Agr. María José Simeone Fuster – Transferencia Tecnológica e Investigador Asistente

Ing. Agr. Mauricio Zúñiga Sánchez – Transferencia Tecnológica e Investigador Asistente

Ing. Agr. Mg. (C) Alejandro Acevedo Pavez – Transferencia Tecnológica

Ing. Bioinformático Rodrigo Aguilar Saavedra – Desarrollo Informático y Soporte

Técnico Agrícola. Leopoldo Fonseca Monsalve – Soporte Actividades en Terreno

Ing. Agr. M.S. Cristian Adasme Berríos – Asesor Economía Agraria

Ing. Agr. M.S. José Luis Llanos Asencio – Asesor Economía Agraria

Ing. Com. Ruth Soto Rivas – Asesor Control de Gastos y Costos

Psicólogo, Felipe Cornejo Troncoso – Asesor Adopción y Transferencia Tecnológica

Diseñador, Miguel Mendoza Fernández – Asesor Imagen y Diseño

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestros más sinceros agradecimientos por su apoyo para lograr el desarrollo de este proyecto a:

Sr. Héctor Jeria – Comisión Nacional de Riego

Sr. César González – Comisión Nacional de Riego

Sra. Patricia Vergara – Comisión Nacional de Riego

Sr. Wilibaldo Bravo – Asociación Canal Maule

Sr. Cristian Beas – Asociación Canal Maule

Sr. Máximo Correa – Junta de Vigilancia Río Longaví

Sr. Edison Araya – Junta de Vigilancia Río Longaví

Sr. Sergio Jerez – Junta de Vigilancia 2ª Sección Río Cachapoal

ÍNDICE

Título	Página
Introducción y objetivos	1
Capítulo 1. Gestión y Administración	3
1.1. Comité Asesor	3
1.2. Recursos Humanos	4
1.3. Informe Financiero	6
1.4. Conclusiones	8
Capítulo 2. Implementación	9
2.1. Módulo central (MC)	10
2.2. Equipamiento Agroclimático (UAR)	13
2.2.1. UAR – Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS)	14
Capítulo 3. Evaluación Económica del proyecto SEPOR y adopción de tecnologías de riego en el área de influencia del proyecto	24
3.1. Evaluación económica del proyecto SEPOR	25
3.2. Adopción de tecnologías de riego: Uso de información agroclimática y de cultivo	29
Capítulo 4. Desarrollo SEPOR	
4.1. Sistema de información geográfica (SIG)	36
4.1.1. Metodología empleada	37
4.1.2. Resultados	38
4.2. Sistema de administración de datos EdSEPOR	39
4.2.1. Metodología empleada	39
4.2.2. Resultados	39
Capítulo 5. Transferencia Tecnológica	40
5.1. Servicio de asesoría en programación del Riego	40
5.1.1. Metodología	41
5.1.2. Agricultores asesorados	42
5.1.3. Resultados y percepciones del servicio	49
5.1.4. Conclusiones	55
5.2. Transferencia tecnológica y capacitación	56
5.2.1. Actividades adicionales	64
5.2.2. Conclusiones	66

Capítulo 6. Ensayos de investigación Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR)	68
6.1.1. Ensayos de investigación UAR, modelo Penman-Montetih	68
6.1.1.1. Introducción	68
6.1.1.2. Teoría	70
6.1.1.2.1. Modelo FAO PM horaria	70
6.1.1.3.1. Medición de datos climáticos	75
6.1.1.3.2. Medición de componentes del Balance de energía	76
6.1.1.3.3. Análisis	78
6.1.1.4. Resultados y discusión	78
6.1.1.5. Conclusiones	82
6.1.2. Ensayos de investigación UAR, modelo de Radiación neta	84
6.1.2.1. Introducción	84
6.1.2.2. Teoría	86
6.1.2.3. Metodología	87
6.1.2.3.1. Aspectos generales	87
6.1.2.3.2. Análisis	90
6.1.2.4. Resultados	90
6.1.2.4.1. Región de O'Higgins, Comuna Coltauco, sector los Bronces	90
6.1.2.4.2. Región del Maule, Comuna Talca, sector los Panguilemo	91
6.1.2.4.3. Región del Maule, Comuna San Clemente, sector La Calor	91
6.1.2.4.4. Región del Maule, Comuna de Parral, sector Quillaimo	92
6.1.2.5. Discusión	93
6.1.2.6. Conclusiones	98
6.1.2.7. Bibliografía	98
6.2. Unidades Agroclimáticas de Validación (UAV)	100
Capítulo 7. Conclusiones Finales	126
Resumen Ejecutivo	

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El proyecto “Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego-SEPOR, áreas regadas del Río Cachapoal (2ª Sección), VI Región y Maule Norte y Longaví, VII Región, financiado por la Comisión Nacional de Riego (2006), fue ejecutado con el fin de buscar la optimización técnica y económica del uso del agua de riego, mediante la puesta a disposición de los productores, de un sistema de información en tiempo real de dosis y frecuencias de riego, orientado a satisfacer regular y eficientemente, en cantidad y oportunidad, los requerimientos de agua de los cultivos, en las diferentes etapas de su desarrollo, para las áreas regadas por las tres organizaciones de usuarios de agua (OUA) beneficiadas. Para ello se plantearon las siguientes actividades:

- i. Implementación del equipamiento necesario: la adquisición, montaje, instalación y puesta en marcha del SEPOR en las áreas regadas por los ríos Cachapoal (2ª sección), Maule Norte y Longaví.
- ii. Implementación y puesta en operación de un Servicio especializado, orientado a asistir los requerimientos de programación y optimización del uso del agua de riego a un conjunto de explotaciones agrícolas en las áreas seleccionadas, mediante la puesta a disposición, en beneficio de los agricultores, de un sistema de información en tiempo real de dosis y frecuencias de riego, orientado a satisfacer regular y eficientemente, en cantidad y oportunidad, los requerimientos de agua de los cultivos, en las diferentes etapas de su desarrollo.
- iii. Implementación y desarrollo un programa de transferencia técnica para capacitar a los agricultores en la utilización adecuada del SEPOR y tecnologías de riego.
- iv. Desarrollo de un programa de investigación aplicada para calibrar localmente el algoritmo matemático de la programación del riego.
- v. Desarrollo de una base de datos en sistema de información geográfica (SIG)
- vi. Desarrollar un programa computacional para la gestión hídrica

De acuerdo a lo anterior, se presenta un informe técnico final con los principales resultados obtenidos y el detalle de las actividades realizadas en los tres años de ejecución del SEPOR.

Este informe se divide en las siguientes partes:

1. Gestión y Administración
2. Implementación
3. Evaluación de Impacto Económico
4. Desarrollo
5. Transferencia Tecnológica
6. Investigación

CAPÍTULO 1

Gestión y administración

1.1. Comité Asesor

En la propuesta original el SEPOR consideró el establecimiento de un directorio formado por seis miembros, de los cuales 1 era representante de la CNR, 1 representante de la Dirección Regional de INDAP, 1 representante por cada organización de regantes y el director del proyecto. Dicho Comité tuvo por función definir las condiciones y amplitud de operación del SEPOR, así como de la supervisión de las diferentes actividades que este realizó y asesoramiento sobre esta base a la Unidad Técnica del SEPOR (Figura 1.1). No obstante lo planteado el INDAP se restó de participar en este proyecto, a pesar de una serie de gestiones infructuosas por parte del equipo de trabajo, la CNR y las diferentes OUA. Finalmente el comité asesor quedó conformado por los siguientes representantes:

1. Junta de Vigilancia 2ª Sección Río Cachapoal: Sr. Sergio Jerez.
2. Asociación Canal Maule: Sres. Wilibaldo Bravo y Cristian Beas.
3. Junta de Vigilancia Río Longaví: Sres. Máximo Correa, Edison Araya y Lisandro Farías.
4. CNR: Sres. Héctor Jeria y César Gonzalez.
5. CITRA: Sres. Samuel Ortega, Marcos Carrasco, Alejandro Acevedo y Eugenio Rodríguez.



Figura 1.1. Comité asesor del SEPOR

Adicionalmente, en algunas reuniones se contó con la presencia de representantes de la Junta de Vigilancia Del Río Maule y de la CNR de la Región del Maule.

El Directorio tuvo como misión supervisar el plan estratégico y operativo del SEPOR, donde originalmente se planteó la realización de 2 reuniones de directorio por año y reuniones mensuales con los profesionales de las asociaciones de regantes. Sin embargo considerando las necesidades del proyecto, estas reuniones fueron más frecuentes a partir del año 2008 (Cuadro 1.1). Como información adicional las actas se presentan en el Anexo 1.

Cuadro 1.1 Resumen de reuniones, lugares y asistentes para el comité asesor del SEPOR, período 2007-2009.

Fecha	Lugar	Asistentes
18 de Junio de 2007	Talca	8
27 de Diciembre de 2007	Parral	8
06 de Junio de 2008	Talca	11
01 de Septiembre de 2008	Talca	10
29 de Julio de 2009	Doñihue	8
30 de Septiembre de 2009	Curicó	8
17 de Diciembre de 2009	Curicó	8

1.2. Recursos humanos

El equipo técnico del SEPOR (Cuadro 1.2) contó con la participación de profesionales y técnicos que apoyaron el desarrollo de las diferentes actividades contempladas. A lo largo de los tres años hubo rotaciones en el equipo de trabajo permanente, básicamente para mejorar la gestión en terreno. Respecto a los asesores, en la medida que el trabajo se fue desarrollando se fue requiriendo de sus servicios para completar la meta planteada originalmente.

Cuadro 1.2. Identificación de los profesionales y técnicos que participaron en la ejecución del proyecto SEPOR, período 2007-2009.

Equipo permanente SEPOR	Nombre	Cargo	Profesión	Grado Acad./Postítulo
	Samuel Ortega Farías	Director	Ing. Agr.	Lic., M.S., Ph.D.
	Eugenio Rodríguez Herrera	Director Alterno	Ing. Agr.	Lic., Master Ing., Regadíos
	Marcos Carrasco Benavides	Asistente Dirección	Ing. Agr.	Lic., Mg.Sc., Dr.(C)
	Alejandro Acevedo Pavez	Transferencista J.V. 2ª Sec. Río Cachapoal	Ing. Agr.	Lic., Mg.Sc.(C)
	Sebastián Juillerat Oliva	Transferencista J.V. Río Longaví	Ing. Agr.	Lic., Mg.Sc.(C) Dipl. Riego Tec.
	Rodrigo Morales Zárate	Transferencista Canal Maule Norte	Ing. Agr.	Lic., Mg.Sc.(C)
	Mauricio Zúñiga Sánchez	Transferencista Asistente de Investigación	Ing. Agr.	Lic., Mg.Sc.(C)
	María José Simeone Fuster	Transferencista Asistente de Investigación	Ing. Agr.	Lic. Dipl. Riego Tec.
	Ricardo Núñez Soto	Transferencista Asistente de Investigación	Ing. Agr. (C). Lic. C. Agrarias	Lic., Dipl. Riego Tec.
	Rodrigo Aguilar Saavedra	Desarrollo EdSEPOR	Ing. Bioinformática (C) Lic. C. Bioinformática	
Equipo de Temporada Agrícola SEPOR	Leopoldo Fonseca Monsalve	Asistente de Terreno	Técnico Agropecuario	Dipl. Riego Tec.
	Aureliano Troncoso Troncoso	Asistente de Terreno	Técnico Agrícola	
	Alexis Cañete Farías	Asistente de Terreno	Técnico Agrícola	
	Esteban Arenas Barraza	Asistente de Terreno	Ing. Agr.	
	Macarena Vargas	Asistente de Terreno	Ing. Agr.	
Equipo Asesor SEPOR	Felipe Cornejo Troncoso	Asesor Transferencia	Psicólogo	
	Cristian Adasme Berrios	Asesor Economía Agraria	Ing. Agr.	Lic., M.Sc.
	John Gajardo Valenzuela	Asesor SIG	Ing. Forestal	Lic. Master Teledetección
	Miguel Mendoza	Asesor Diseño	Diseñador	Lic. En Diseño
	Jaime Olavarria Astudillo	Asesor Economía Agraria	Ing. Agr.	Lic., M.Sc., Ph. D.(C)

Adicionalmente, para la realización del diagnóstico de línea de base, se contrataron a 8 profesionales para levantar la información de terreno a través de encuestas. La misma cantidad de personas debieron ser contratadas en la toma de la encuesta final, para poder evaluar el impacto del proyecto en las zonas de influencia.

1.3. Informe Financiero

A continuación se presenta un informe financiero con los resúmenes de las partidas de gastos e inversiones involucradas (Cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. Resumen Operación SEPOR, período 2007-2009.

	PRESUPUESTO SEPOR	OPERACIÓN SEPOR	SALDO
Total Ingresos	394.489.293	355.040.364	39.448.929
GASTOS			
Inversiones	240.564.093	178.889.824	61.674.269
RRHH	98.925.000	138.644.940	-39.719.940
Gastos de Adm. Central	0	39.448.929	-39.448.929
Gastos Operación	41.007.000	36.169.719	4.837.281
Imprevistos	13.993.200	0	13.993.200
Total Gastos	394.489.293	393.153.413	1.335.880
SALDO	0	-38.113.049	

El saldo negativo de \$-38.113.049 corresponde a los gastos realizados a cuenta del dinero que llegará en las remesas pendientes al término del proyecto. De esta manera, queda un saldo a favor entre lo presupuestado y lo gastado de \$1.335.880.

Respecto al total de inversiones en el Cuadro 1.4 se presenta el resumen para cada uno de los ítems considerados en el proyecto.

Cuadro 1.4. Resumen inversiones SEPOR, período 2007-2009.

INVERSIONES 1. EQUIPAMIENTO	PRESUPUESTO SEPOR	2007	2008	2009	TOTAL INVERSIONES	SALDO
1.1. Módulo Central	20.994.144	15.422.064	520.001	0	15.942.065	5.052.079
1.2. Módulos Remotos	148.483.408	121.584.618	0	0	121.584.618	26.898.790
1.3. Equipamiento Estudio del Balance Hídrico	9.573.118	3.884.115	1.763.685	0	5.647.800	3.925.318
1.4. Equipamiento Mediciones Fisiológicas	33.326.536	30.247.394	0	0	30.247.394	3.079.142
1.5. Equipamiento Mediciones Humedad de Suelos	28.186.886	5.310.197	0	0	5.310.197	22.876.689
1.6. Gastos Generales Inversiones	0	106.500	51.250	0	157.750	-157.750
TOTAL EQUIPAMIENTO	240.564.093	176.554.888	2.334.936	0	178.889.824	61.674.269

El resumen de gastos en recursos humanos, gastos de administración central y costos operacionales son presentados en los Cuadros 1.5., 1.6 y 1.7, respectivamente.

Cuadro 1.5. Resumen gasto en recursos humanos SEPOR, período 2007-2009.

RESUMEN HONORARIOS	PRESUPUESTO SEPOR	2007	2008	2009	TOTAL RRHH	SALDO
2.1. Profesionales Permanentes	65.625.000	14.285.005	25.619.996	31.275.000	71.180.001	(5.555.001)
2.2. Profesionales Asesores	21.600.000	7.633.334	8.800.000	13.541.875	29.975.209	(8.375.209)
2.3. Técnicos y Asistentes de Investigación	5.700.000	400.000	8.803.998	12.550.000	21.753.998	(16.053.998)
2.4. Personal administrativo y de apoyo	6.000.000	1.200.000	6.690.087	7.845.645	15.735.732	(9.735.732)
TOTAL GASTOS RRHH	98.925.000	23.518.339	49.914.081	65.212.520	138.644.940	(39.719.940)

Cuadro 1.6. Resumen gasto en administración central SEPOR, período 2007-2009.

	PRESUPUESTO SEPOR	2007	2008	2009	TOTAL	SALDO
Ingresos	394.489.293	272.700.000	56.700.000	25.640.364	355.040.364	39.448.929
10 % Gastos de Administración Central U. de Talca	39.448.929	27.270.000	5.670.000	2.564.036	35.504.036	3.944.893

Cuadro 1.7. Resumen costos operacionales SEPOR, período 2007-2009.

	PRESUPUESTO SEPOR	2007	2008	2009	TOTAL	SALDO
Combustible	0	1.565.961	5.246.020	6.515.292	13.327.273	(13.327.273)
Viáticos	9.782.000	422.438	1.342.142	1.840.317	3.604.897	6.177.103
Peajes / Pasajes / estacionamientos	0	184.260	1.765.552	1.907.936	3.857.748	(3.857.748)
Materiales Terreno	5.925.000	363.608	967.965	1.283.684	2.615.257	3.309.743
Gtos. Oficina	0	246.600	749.707	971.335	1.967.642	(1.967.642)
Cuenta Celular - Transferencia Datos	0	369.081	720.652	720.463	1.810.196	(1.810.196)
Gastos Reparación y Repuestos	0	3.456.980	406.500	546.000	4.409.480	(4.409.480)
Otros	25.300.000	500.785	1.872.670	2.203.771	4.577.226	20.722.774
TOTAL GASTOS OPERACIÓN	41.007.000	7.109.713	13.071.208	15.988.798	36.169.719	4.837.281

1.4. Conclusiones

Se produjeron gastos imprevistos que no estaban considerados en la propuesta general, como por ejemplo el envío de equipamiento a reparación y/o calibración al extranjero o a nivel nacional. Adicionalmente, se hizo necesario la contratación de más personal que el considerado para realizar actividades tales como la encuesta del diagnóstico de línea de base. Por otra parte, el personal que se contrató para la realización de actividades en terreno, consideró el arriendo de vehículos y prolongar el período por más tiempo que el establecido originalmente, de manera de prestar un servicio más idóneo a las necesidades de las OUA.

CAPÍTULO 2

2. Implementación

En términos generales el SEPOR se compuso de diversas unidades o módulos que permitieron por una parte, levantar información desde el terreno, considerando la integración del sistema Suelo-Agua-Planta (SAP), en las diferentes OUAs, y por otra el procesamiento de los datos y generación de información relevante, ya sea en bruto como datos meteorológicos básicos o bien mediante datos procesados, necesarios para la prestación de servicios de asesoría y apoyo del riego a los diferentes beneficiarios. El flujo de información entre cada componente, así como sus interacciones es presentado en la Figura 2.1.

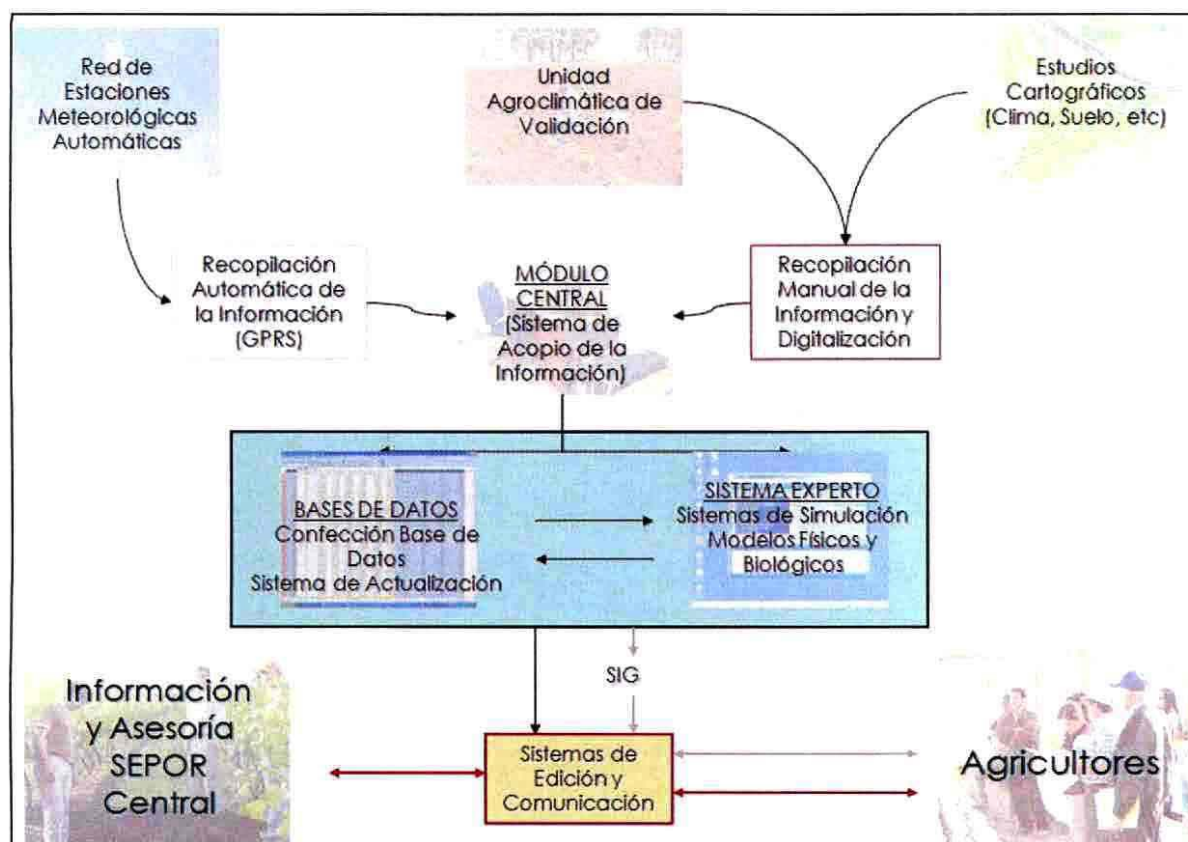


Figura 2.1. Componentes principales del SEPOR y sus interacciones

Los distintos componentes del SEPOR son individualizados en los Cuadros que se presentan a continuación. Estos componentes son el Módulo Central (MC), las Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR) y las Unidades Agroclimáticas de Validación (UAV).

2.1. Módulo central (MC)

El MC es el espacio físico donde se procesa y analizar la información de clima, suelo, cultivo y manejo agronómico. En este lugar se encuentran los servidores encargados de administrar la información proveniente de los módulos remotos (UAR y UAV), proporcionando la información necesaria para los distintos servicios que el SEPOR ofreció a los agricultores. El MC está constituido por un sistema informático y una base de datos georeferenciada y corresponde al punto principal del sistema. Físicamente está emplazado en las dependencias del CITRA, en la Universidad de Talca, Campus Talca y está formado por los siguientes componentes:

- Servidor central
- Servidor de información agroclimática
- Sistema de Información Geográfica
- Área de Procesamiento de Datos
- Sistema de Medición de Variables Climáticas

Las inversiones hechas, así como las características técnicas del equipamiento y software adquirido para el MC se presentan en los Cuadros 2.1.1 y 2.1.2.

Cuadro 2.1.1. Características del hardware del Módulo Central (MC)

Descripción	Características Técnicas
Servidor	- HP ML150G2 X3.2 2MB cache 512MB NHP-SCSI36 US Twr Server - HP 512 REG PC2700 SGLDMM Memory - 36.4-GB Pluggable Ultra320 SCSI 15,000 rpm Universal Hard Drive - HP StorageWorks DAT 72i SCSI Internal Tape Drive for ProLiant and AlphaServer Systems - Monitor LCD AL1716B Negro TFT 17" 1280 x 1024
Base A840	- Realiza la función de recolectar la información desde las EMAs, gestionarla y ponerla a disposición de los usuarios.
Computador Potenciado	- Procesador : Intel Pentium 4 Xeon 3.2 GHz - Procesadores Instalados: 2 - Chipset: Intel E7525 - Sistema Operativo: Microsoft Windows XP Pro - Periféricos: Teclado, Mouse - Tarjeta de Red Network : Ethernet (10/100 Mbps), Gigabit Ethernet (1000 Mbps) - Discos Duros : 500GB + 80 GB , total 580 GB - Velocidad del Bus: 800 MHz - Tamaño de la Cache: 2 MB - Memoria Instalada: 1 GB - Monitor LCD AL1716B Negro TFT 17" 1280 x 1024
Computadores	- Procesador : Intel Pentium 4 3.0 2MB BUS 800 SOCKET 775 - Tarjeta Madre: Intel D945GNTL Inc. videoideo/Sonido/Red - Memoria Ram: DDR 2Gb PC-400 marca Kingston - Disco Duro : 400 Gb 7200 rpm SATA - Grabador de DVD doble Capa - Disquetera Interna : 3 ½", 1,44 Mb Sony /Nec negra - Teclado : PS/2 - Mouse : PS/2 Optico - Monitor Color : 17".23 LG Negro CRT
Disco de respaldo	DD externo 160 GB 7.200 rpm USB2
Impresora Laser multifuncional	- Velocidad de 16 ppm COPIADORA - Velocidad de 16 ppm IMPRESORA - Envío y recepción de FAX - Verdadera resolución de 1200 dpi en impresión - Función Duplex en tamaño carta - Escáner full Color - Interfase USB - 1 Cassete de 250 hojas y Bypass de 30 hojas - Ampliación - Reducción 25% - 400% - Copiado e Impresión Carta, oficio. - Diseñada para un volumen mensual de 7.000 copias
Palm	- LifeDrive Mobile Manager 416 MHz 4 GB Palm OS 5.4 320x480
UPS	- Apc Back-Ups Br 1500va con Software y Regulador

Cuadro 2.1.2. Características del software del Módulo Central (MC)

Descripción	Características Técnicas
AddVANTAGE Pro. 5.0	Realiza la función de recolectar la información desde la Base (A840), gestionarla y ponerla a disposición de los usuarios. Este software no requiere instalación adicional, ya que su funcionamiento es a través del navegador de Internet (sugerencia del fabricante: Microsoft Internet Explorer versión 5 o superior). Los contenidos son actualizados automáticamente. Este software gestiona cuentas de usuario, mediante las cuales se podrá tener acceso en forma diferenciada a la estación meteorológica que se encuentre asignada a la zona geográfica pertinente. Esta herramienta permite, además de visualizar los datos, exportarlos con formato de texto para que puedan ser trabajados en distintos software de procesamiento
Office	Office proporciona las herramientas para crear documentos, poderosas hojas de cálculo y presentaciones convincentes; administrar su información y comunicación personal y hacer disponibles los datos de negocios con el sistema premier de administración de bases de datos de escritorio. Office incluye: Microsoft Access 2003, Microsoft Excel 2003, Microsoft InfoPath 2003, Microsoft Outlook 2003, Microsoft PowerPoint 2003, Microsoft Publisher 2003, Microsoft Word 2003
Windows Server Std 2003 R2	Windows Server 2003 servidor estable y seguro de una probada base de código y extiende la conectividad y el control a áreas nuevas. Mejorar las soluciones de servidor para escritorio, la administración de identidades y accesos, la administración de capacidades de almacenamiento y desarrollo de aplicaciones. - Active Directory Directorio de organización basado en LDAP, permite gestionar de forma centralizada la seguridad de una red corporativa a nivel local. - Internet información: servidor web funcional que facilita las aplicaciones Web y servicios web xml. - Terminal services: permite enviar aplicaciones Windows a cualquier dispositivo computacional.
SQL Server Standard Edn 2005 Win32 English OLP NL	SQL Server constituye una completa solución de datos de extremo a extremo que aporta a los usuarios una plataforma segura, confiable y productiva para las aplicaciones de datos.. Estas herramientas reducen la complejidad que supone el proceso de crear, implementar, administrar y utilizar datos y aplicaciones analíticas en distintas plataformas que abarcan desde dispositivos móviles hasta sistemas de datos de empresas. La plataforma de datos SQL Server incluye las siguientes herramientas: - Relational Database (Base de datos relacional): motor de base de datos. - Replication Services (Servicios de duplicación): duplicación de datos para aplicaciones de procesamiento de datos distribuidos o móviles,. - Notification Services (Servicios de notificación) - Integration Services (Servicios de integración) - Analysis Services (Servicios de análisis) - Reporting Services (Servicios de creación de informes) - Management Tools (Herramientas de administración) administración avanzada de bases de datos. - Herramientas de desarrollo: desarrollo integradas para el motor de base de datos, extracción de datos, transformación y carga (ETL), - Aprovechamiento de los activos de datos
MATLAB	MATLAB es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. Integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica. dispone de Toolboxes estos cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el 'toolbox' de proceso de imágenes, señal, control robusto, estadística, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc. es un entorno de cálculo técnico.

2.2. Equipamiento Agroclimático - Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR) y Unidades Agroclimáticas de Validación (UAV)

Para el correcto montaje y funcionamiento de las UAR se realizaron las inversiones que se detallan en el Cuadro 2.2.1. Adicionalmente, se adquirieron cuatro equipos automáticos necesarios para las mediciones de Radiación Neta (Rn) y Calor del suelo (G), del balance de energía.

Por otra parte, se consideraron inversiones en equipos micrometeorológicos (Cuadro 2.2.2), tendientes a medir los diferentes componentes del balance de energía (Radiación Neta (Rn), Flujo de Calor del Suelo (G), Calor Sensible (H) y Calor Latente (LE)) y de esta manera calibrar las ecuaciones de ET usadas, en base al modelo de Penman-Monteith. Para ello se compraron 3 sistemas de flujos turbulentos (Eddy Correlation), los cuales fueron ubicados en terreno tanto en las UAV como en las UAR.

Cuadro 2.2.1. Características del Hardware de las EMA (UAR)

Descripción			Características Técnicas
Unidad	Remota	de Medición	- Estación meteorológica A733 GPRS/GSM (Adcon Telemetry, Austria) - Puede conectar varios sensores a la estación tanto análogos como digitales. - Los parámetros son registrados cada minuto y los promedios deben enviarse por sistema GPRS cada 15 o 30 minutos. - Con baterías de soporte y panel solar
Estructura de Soporte y armado.			- Postes de aluminio de 3 m de largo + accesorios de montaje, panel solar y baterías de respaldo y funcionamiento.
Transmisión de datos			- Distancia transmisión: ilimitada – GPRS
Sensores (UAR)			- Temperatura - Humedad relativa - Velocidad del viento - Dirección del viento - Radiación global - Precipitaciones (lluvia)
Sensores Rn (UAV)			- Radiación Neta - Calor de suelo - Datalogger Campbell Scientific CR1000 (Logan, Utah, EEUU)

Cuadro 2.2.2. Características de los Sensores y Accesorios para la UAV

Descripción	Características Técnicas
Velocidad y temperatura sónica del viento (CSAT3)	- Rango de $2,5 \times 10^{-4}$ a $65,535 \text{ m s}^{-1}$ - Mediciones en frecuencias desde 10Hz
Analizador de CO_2 y Vapor de Agua (CS7500)	- Rango de 2 a 19 g m^{-1} - Mediciones en frecuencias desde 10Hz
Radiómetro neto (REBS Q7.1)	- Rango 0,2 a $100 \text{ } \mu\text{m}$ - Calibrado para radiación con luz día - Precisión típica $\pm 3\%$ - Requiere base de fijación
Platos de flujo de calor de suelo (HFT3)	- Temperatura de operación -40 a $55 \text{ } ^\circ\text{C}$ - Sensor de termopila - Rango de medición $\pm 100 \text{ W/m}^2$
Termocuplas de calor de suelo (TCAV)	- Rango de medición -40 a 100°C

2.2.1. UAR - Estaciones Meteorológicas (EMAs)

Las estaciones meteorológicas automáticas son el conjunto de sensores y equipos que realizan la medición de las variables ambientales básicas (Figura 2.2.1.1). A partir de los datos obtenidos desde las EMAs, es posible estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o), por medio de la aplicación del modelo de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). En el SEPOR cada estación meteorológica estuvo en condiciones de referencia, en medio de un área con 1 ha de pasto bien regado, de aproximadamente 12 cm de altura. Los sensores se ubicaron aproximadamente a 2 m de altura y el emplazamiento escogido intentó representar la zona agroclimática en estudio. Las estaciones meteorológicas estuvieron configuradas para efectuar una lectura de las variables cada 15 min y transmitirlos hacia la base cada una hora.

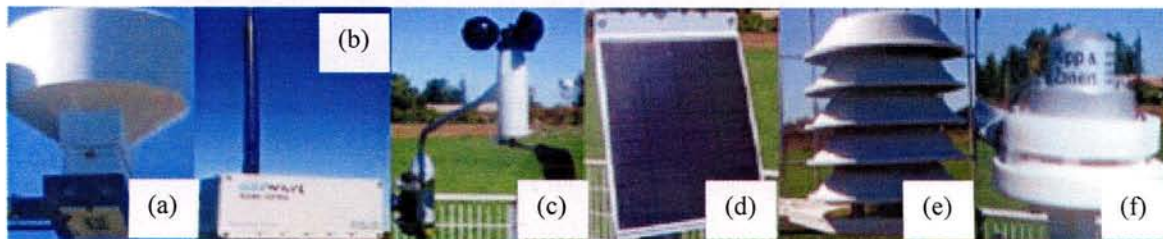


Figura 2.2.1.1. Componentes EMAs usadas en el SEPOR, donde: a) pluviómetro; b) datalogger; c) sensor de dirección y velocidad del viento; d) panel solar; e) sensor de temperatura y humedad relativa y f) sensor radiación global.

Mediante un contrato celebrado entre la Universidad de Talca y las Asociaciones de regantes, se establecieron los deberes, obligaciones y responsabilidades de ambas partes para la instalación de dichos equipos los cuales se instalaron en las comunas que abarcó cada una de las zonas beneficiarias (Cuadros 2.2.1.1 al 2.2.1.3; Figuras 2.2.1.2 a la 2.2.1.4). Cabe señalar, que inicialmente se habían asignado cuatro EMAs a la Segunda Sección del Río Cachapoal, distribuidas en las comunas de Coinco, Coltauco, Doñihue, San Vicente de Tagua Tagua y Rancagua. Esta última por razones técnicas finalmente no se instaló, debido a la imposibilidad de parte de la administración de la Segunda Sección del Río Cachapoal y del equipo técnico del CITRA de encontrar algún agricultor que facilitara la superficie para emplazarla. Por otra parte, existían reiteradas solicitudes de la Junta de Vigilancia del Río Longaví, quienes manifestaron que necesitaban otro dispositivo. En base a estos argumentos, la Comisión Nacional de Riego autorizó cambiar la estación asignada a Rancagua (Segunda Sección Río Cachapoal), a Longaví (Junta de Vigilancia Río Longaví).

Cuadro 2.2.1.1. Detalle UAR – 2ª Sección Río Cachapoal

Estación Nº	Serial	Nombre clave	Ubicación (UTM, Huso 19)	Altura (m.s.n.m.)
1	37184	Cachapoal 1 (Zuñiga - San Vicente)	305325 E 6196657 N	208
2	37152	Cachapoal 2 (El Sauce - Coltauco)	313334 E 6208830 N	281
3	37272	Cachapoal 3 (Los Bronces - Doñihue)	315945 E 6212508 N	347
4	37284	Cachapoal 4 (Coinco)	323592 E 6208949 N	298
5		Rancagua*	E N	Trasladada

*Por razones técnicas, esta estación se cambió a la Junta de Vigilancia Río Longaví.

Cuadro 2.2.1.2. Detalle UAR – Asociación Canal Maule

Estación N°	Serial	Nombre clave	Ubicación (UTM, Huso 19)	Altura (m.s.n.m.)
1	37160	Queri (San Clemente)	279445 E 6060827 N	174
2	37291	San Rafael (San Rafael)	276482 E 6087340 N	148
3	37301	Pelarco	283334 E 6077510 N	188
4	37275	La Calor (San Clemente)	292026 E 6065935 N	174

Cuadro 2.2.1.3. Detalle UAR – Junta de Vigilancia Río Longaví

Estación N°	Serial	Nombre clave	Ubicación (UTM, Huso 19)	Altura (m.s.n.m.)
1	37290	Longaví 1 (La Sexta - Longaví)	266477 E 5999742 N	240
2	37277	Longaví 2 (Ajial - Parral)	255434 E 5994271 N	187
3	37292	Longaví 3 (Sector Camelia – Retiro)	265841 E 5992606 N	208

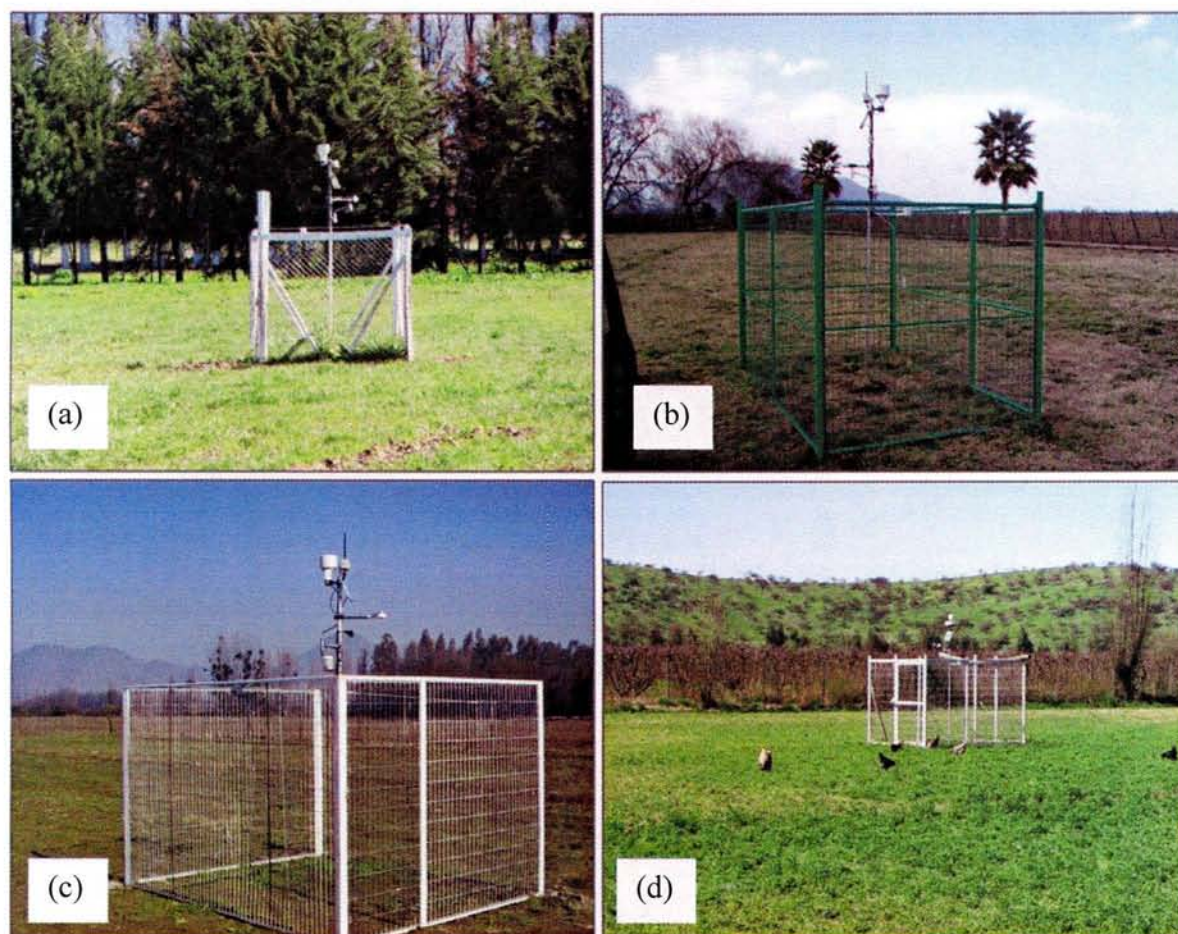


Figura 2.2.1.2. Estaciones meteorológicas automáticas en referencia (a) Los Bronces, (b) Doñihue, (c) Zuñiga y (d) Copequén. J. Vig. 2ª Sección Río Cachapoal (región de O'Higgins).

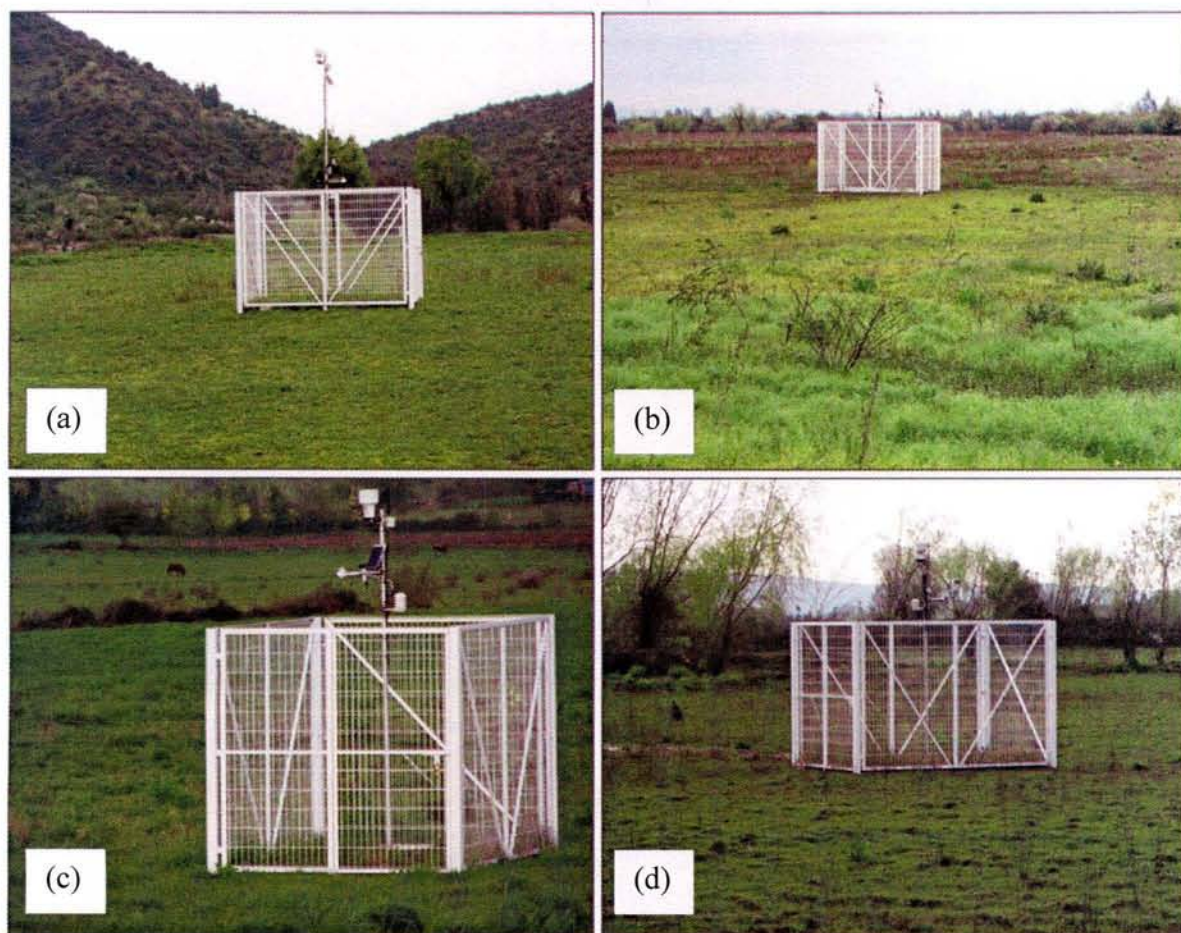


Figura 2.2.1.3. Estaciones meteorológicas automáticas en referencia (a) La Calor, (b) Queri, (c) San Rafael y (d) Pelarco. Canal Maule Norte (región del Maule).

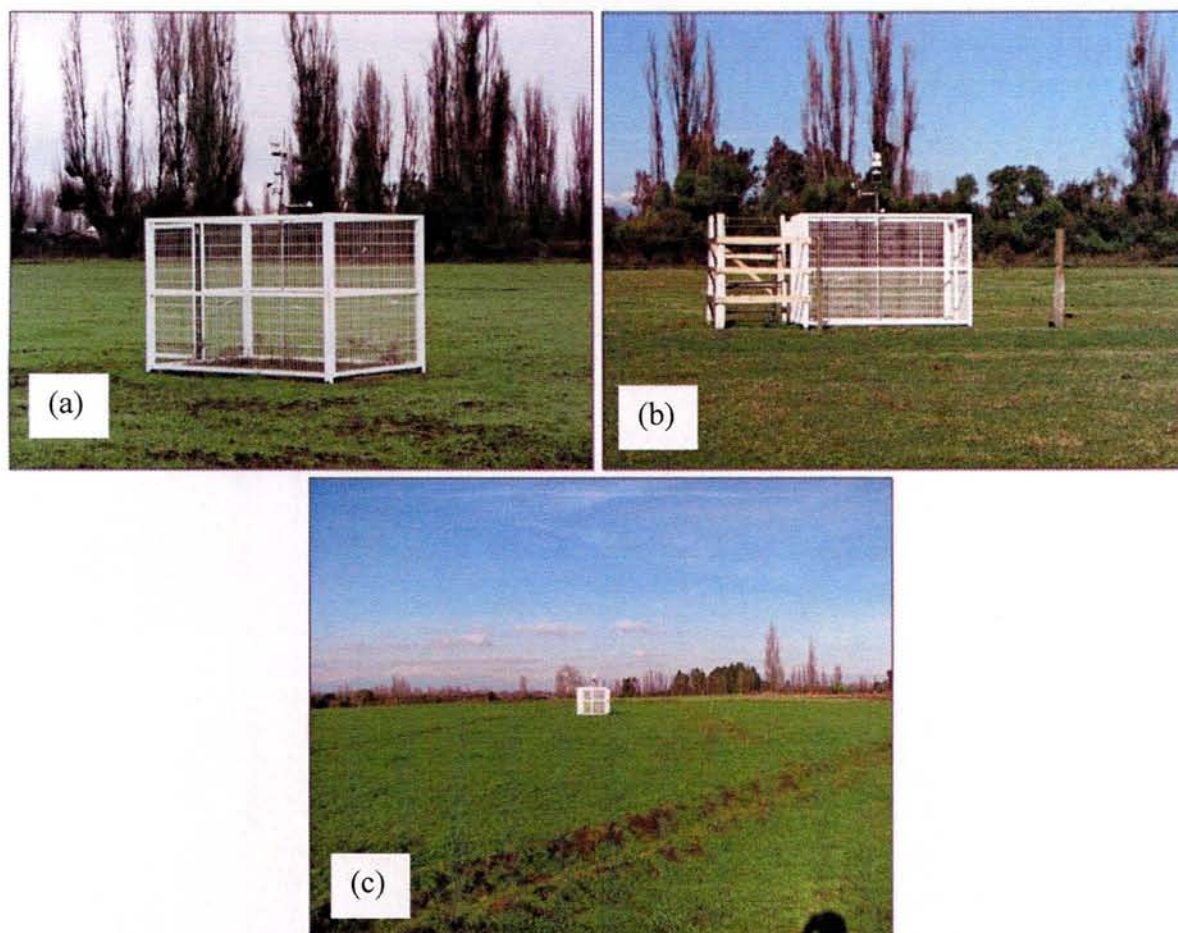


Figura 2.2.1.4. Estaciones meteorológicas automáticas en referencia (a) Longaví, (b) Parral y (c) Parral. J. Vig. 2ª Sección Río Cachapoal (región del Maule).

2.3. Inventario del equipamiento adquirido

El inventario de los equipos adquiridos para el proyecto es presentado a continuación. Se adjunta además el detalle de los números de serie (Cuadros 2.3.1 al 2.3.8).

Cuadro 2.3.1. Inventario equipamiento adquirido por el SEPOR – Estaciones Meteorológicas.

Unidad / N° Serie	A733 addWAVE GSM/GPRS	WIN Windspeed and Direction	PR Pyranometer SP-LITE	SEN-R Combisensor T/RH	RG Rain Gauge (unheated) 0,2 mm	Solar Set
1	37272	67755	64520	B4620028	12965	s/n
2	37296	67748	64528	B4620016	13052	s/n
3	37291	67758	64541	B4620024	13056	s/n
4	37275	67756	64566	B5140091	12997	s/n
5	37152	67751	64643	B4620017	12998	s/n
6	37292	67762	64527	B4620023	13058	s/n
7	37160	67745	64599	B4620022	13000	s/n
8	37184	67749	64616	B4620041	13002	s/n
9	37277	6775	64544	B4620025	12999	s/n
10	37301	67761	64564	B4620040	12996	s/n
11	37290	67765	64592	B5140101	13055	s/n
12	37284	67767	64512	B4620021	12994	s/n

Cuadro 2.3.2. Inventario equipamiento adquirido por el SEPOR – Base Estaciones Meteorológicas.

Base A840 Gateway with WORLD-Modem
102672 102672-200-GPRS-51FO.850D .3D3F.E9DA.ACE5.4A7F.7657 .668B

Cuadro 2.3.3. Inventario equipamiento Módulo Central – Parte 1.

Unidad / N° Serie	UPS APC 1500VA	Monitor AOC LCD 17"	Disco Duro IOMEGA 120GB USB
1	NB0712006096	30372BA030888	J0AG060GDM
2	NB0712006065	30372BA030467	J0AG060GDT
3	--	30372BA030475	--
4	--	30372BA031029	--
5	--	30372BA030896	--

Cuadro 2.3.4. Inventario equipamiento Módulo Central – Parte 2.

Descripción	Cantidad	N° Serie
Equipo GPS Pathfinder Pro	1	224030553
Palm LifeDrive Mobile Manager 416	1	PVGOM3W6U24M
Software		
Arcview 9.2 Concurrent	1	
Extensión ArcGis 3D Analyst 9.2 Concurrent	1	
Extensión ArcGis Spatial Analyst 9.2 Concurrent	1	
Extensión ArcGis GeoStatistical Analyst 9.2 Concurrent	1	
Extensión Image Analisis para ArGis 9.2 Concurrent	1	
MATLAB R2007a		
Otros		
Tubos Aluminio	12	Genérico
Equipo Computacional		
Servidor HP ML-150 PROLIANT 1GB/80GB/SATA	1	2UX70702SS
Computador P4 DualCore 2,8 GHz/2GB/400GB/Grab.DVD/T.Red	1	Genérico
Computador P4 DualCore 2,8 GHz/2GB/400GB/Grab.DVD	3	Genérico
Fotocopiadora SHARP 1655	1	55090456
Plotter HP DesignJet	1	SMY6CDD3035

Cuadro 2.3.5. Inventario equipamiento Investigación.

Descripción	Cantidad	N° Serie
Porosímetro (PMR5)	1-2	PMR-5: 029
Porosímetro (Consola EGM-4)	2-2	EGM-4: 363
Analizador Infrarrojo de gases (IRGA)	1	PSC 2145
Bomba Scholander	1	3979
Caudalímetro	1	U7C6645T O
TDR	1	1212M

Cuadro 2.3.6. Inventario Sistemas de Flujos Turbulentos – Campbell Scientific.

Sistema de Flujos Turbulentos				
Item	Detalle partes y piezas	Eddy1	Eddy2	Eddy3
1	CSAT3 Anemómetro Sónico 3d+ maleta de carga	1469	1475	1471
2	Licor CS7500 analizador de CO2	1308	1302	1319
3	Radiometro Neto REBS Q7.1 L20	q07046	q07047	--
	Radiometro Kipp and Zonen NR Lite L20	--	--	72666
4	Kit de brazo para montaje	s/n	s/n	s/n
5	HFT3 - Platos de calor de suelo	h073136	h073138	h073108
		h073137	h073135	h073107
6	TCVA termocuplas de calor de suelo	s/n	s/n	s/n
7	Caja exterior y kit de armado	s/n	s/n	s/n
8	Panel solar de 65W	5029117	5029178	5029160
		5020695	5029180	5029024
9	Cargador solar MornigStar	7271134	7271133	7160562
10	Datalogger cr5000	2220	2221	2222
11	Adaptador de corriente ac-dc (18V)	3951181	3951237	3951168
12	Memorias Compact Flash PCMCIA 2GB	s/n	s/n	s/n
13	Adaptador Compact Flash PCMCIA	s/n	s/n	s/n

Cuadro 2.3.7. Inventario EMAs Móviles – Campbell Scientific.

	EMA móvil				
Item	Detalle partes y piezas	EMA1	EMA2	EMA3	EMA4
1	Datalogger cr3000	2261	2262	2260	2259
2	Adaptador de corriente ac-dc (18V)	3951210	3951206	3951229	3951222
3	Caja exterior y kit de armado	s/n	s/n	s/n	s/n
4	Panel solar de 65W	5029156	5029165	5029157	5029174
5	Cargador solar MornigStar	7160275	7271132	7160561	7160279
6	Radiometro Neto REBS Q7.1 L20	q07025	q07026	q07024	q07027
7	Kit de brazo para montaje	s/n	s/n	s/n	s/n
8	HFT3 - Platos de calor de suelo	h073124	h073098	h073129	h073128
		h0173130	h0173136	h0173097	h073134
9	TCVA termocuplas de calor de suelo	s/n	s/n	s/n	s/n

Cuadro 2.3.8. Accesorios – Campbell Sci.

	Memorias Compact Flash PCMCIA 2GB	
Item	Detalle partes y piezas	1
1	Memorias Compact Flash PCMCIA 2GB	s/n
2	Adaptador Compact Flash PCMCIA	s/n

2.4. Inventario de los seguros contratados para desarrollo del proyecto SEPOR

No existió ninguna compañía de seguros que manifestara su interés en proteger cualquiera de los equipos puestos en terreno. Al momento de la adquisición de los bienes, se llamó a licitación mediante Chilecompra, pero no se presentaron oferentes interesados. (Figura 2.4.1 y Cuadro 2.4.1). Adicionalmente se solicitó información por seguros a las compañías aseguradoras tales como MAPFRE Seguros Generales, Chilena Consolidada y Liberty Seguros, desde donde no se recibieron respuestas atinentes a las necesidades planteadas y en general no hubo respuestas a los requerimientos o bien los productos ofrecidos no cubrían las necesidades del proyecto.

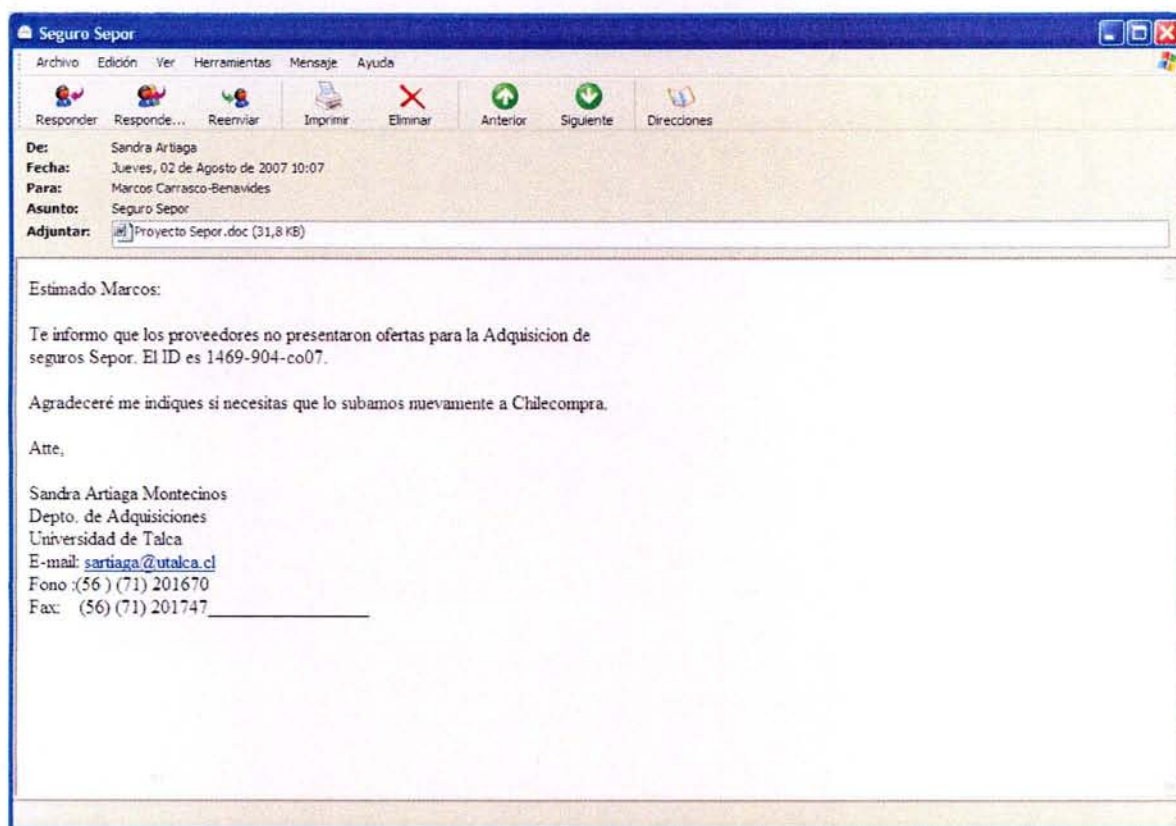


Figura 2.4.1. e-mail en respuesta por licitación seguros para equipamiento adquirido por el SEPOR.

Cuadro 2.4.1. Resumen Chilecompra por licitación seguros SEPOR.

Nro. de la Adq.	Nombre de la Adquisición	Unidad de compra	Ofertas	Publicación	Estado	Tipo Adjudicación	Acciones
 1469-904-CO07	SEGURO DE BIENES. PROYECTO SEPOR	Universidad de Talca	0		Cerrada	Simple	

CAPÍTULO 3

Evaluación económica del proyecto SEPOR y adopción de tecnologías de riego en el área de influencia del proyecto

Antecedentes Generales

En el marco del desarrollo del proyecto SEPOR, desde el año 2007 a Diciembre de 2009, se debe destacar la aplicación de una encuesta de línea base a los agricultores beneficiarios directos e indirectos de la zona de influencia del proyecto, realizada en el año 2008. La finalidad de esta encuesta fue conocer las características productivas de los beneficiarios; existencia de programación del riego; manejo de los recursos naturales; entre una serie de elementos que permitieron situar la realidad de los agricultores del área de influencia de la investigación. Resultados que fueron presentados en el informe técnico del mes de Septiembre 2008.

Con el fin de analizar los efectos de la aplicación del proyecto SEPOR en los agricultores beneficiarios, es que entre los meses de Septiembre y Diciembre de 2009, se aplicó una encuesta de seguimiento. La cual tuvo por finalidad medir la evolución de los agricultores partícipes del proyecto; en términos de mejoras en la programación del riego, ahorros de energía y agua que permitirán aumentar la superficie a regar y por ende la producción de cada una de las unidades prediales involucradas, entre una serie de actividades en beneficio de los propios agricultores.

Los agricultores seleccionados para realizar el seguimiento en las tres secciones de los ríos Cachapoal, Maule y Longaví, correspondieron a un total de 144 beneficiarios. Estos agricultores son los que recibieron capacitación directa por parte del equipo técnico del proyecto y corresponde al 30,8% del total de la muestra. Respecto de los beneficiarios que recibieron asistencia técnica para realizar un uso eficiente del recurso hídrico, se puede destacar que el 48,1% del total, ha estado en contacto directo con el equipo técnico del proyecto.

3.1. Evaluación económica del Proyecto SEPOR

Con el objetivo de realizar una evaluación económica preliminar del proyecto, se consideró sólo a los agricultores a los cuales se ha realizado seguimiento de sus actividades productivas, pertenecientes a las diferentes localidades que componen las tres cuencas estudiadas.

Las evaluaciones de cualquier tipo de proyecto que contemple el uso de fondos fiscales, debe estar compuesta por una evaluación económica y una evaluación social del proyecto. En esta instancia se presentará una evaluación de tipo económica general, basada en los sistemas productivos que posee cada agricultor.

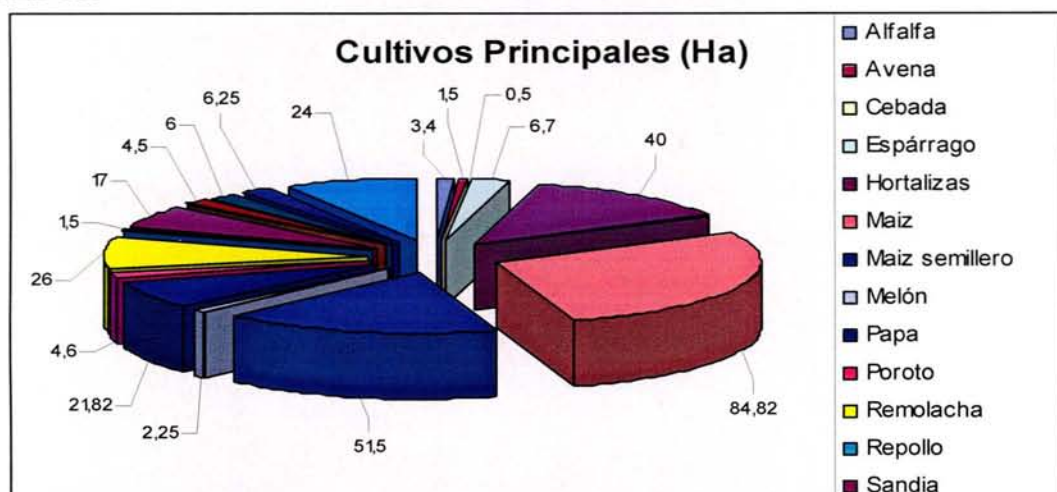
La encuesta de seguimiento nos permitió conocer las diversas actividades productivas que desarrollan los agricultores, sus ingresos por concepto de ventas de la producción. Así como también sus costos asociados a sus actividades productivas.

Existen dos formas de realizar una evaluación económica de un proyecto que involucra agricultores. La primera es realizarla en forma individual por cada uno de los beneficiarios directos y partícipes del proyecto y la segunda forma consiste en realizar una evaluación general, donde se incluye a todos los beneficiarios como un todo. Es esta última la utilizada en el presente informe, para dar una aproximación real de la evaluación económica del proyecto.

a) Sistemas productivos

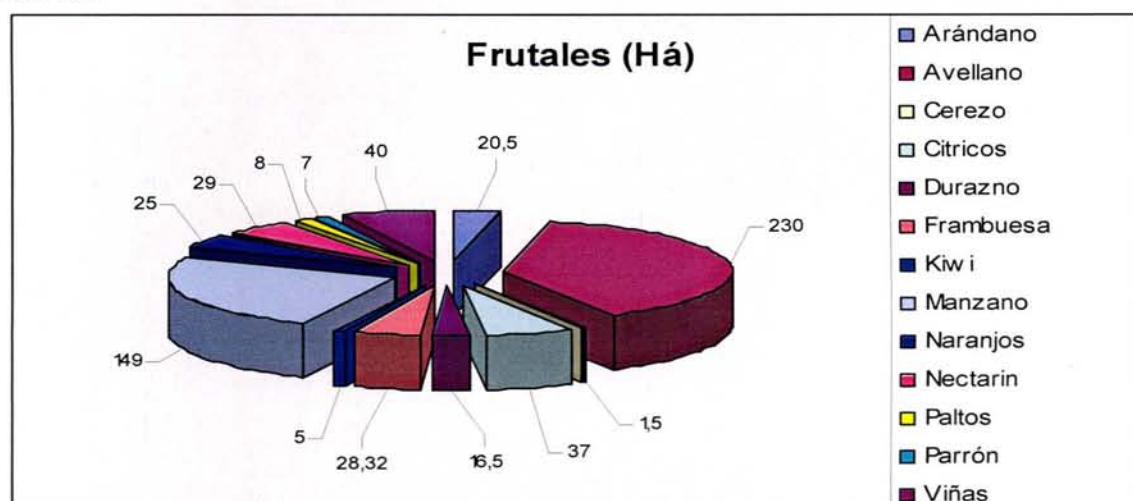
Las tres macrozonas analizadas presentan como sistemas productivos cultivos anuales y producción de frutales en general. Respecto de los cultivos, los principales rubros corresponden a maíz choclero (84,82 há), maíz semillero (51,5 há), hortalizas en general (40 há.) y trigo (24 há.). El resto de los cultivos cuentan con menos de 22 há. como se puede observar en la Figura 3.1.1.

Figura 3.1.1. Principales cultivos anuales producidos en el área de influencia del Proyecto SEPOR



Los frutales son la fuente de ingreso principal para los agricultores en las tres macrozonas. Las principales especies corresponden a avellano europeo (230 há.), manzano (149 há.), viñas (40 há.) y cítricos (37 há.). El resto de los frutales cuentan con una superficie menor a las 30 há como se puede ver en la Figura 3.1.2.

Figura 3.1.2. Principales cultivos anuales producidos en el área de influencia del Proyecto SEPOR



b) Análisis de la Evaluación Económica

Los ingresos totales para la muestra de 144 agricultores, beneficiarios directos del proyecto SEPOR, es del orden de los \$ 2.324.790.922. Estos ingresos contemplan los precios declarados por los propios agricultores y de acuerdo a sus volúmenes de venta expuestos a la hora de las entrevistas individuales.

Por otra parte, los costos totales (fijos y variables) de la producción de cultivos anuales y frutales de la muestra en general es de \$ 1.606.143.830.

La inversión de la Comisión Nacional de Riego en el proyecto SEPOR, ejecutado por la Universidad de Talca es por un monto total de \$ 450.514.293.

Para determinar la rentabilidad del proyecto, se calculó el margen bruto anual de la actividad económica, y se utilizó el criterio del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno, por el período de duración del proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

FC_t = Flujo de caja en el año t (Pesos)

t = 1,2, ... ,n.

n = número de años

i = tasa de interés (actualización)

La tasa de interés utilizada para el cálculo del Valor Actual Neto fue de un 13%, que corresponde al interés promedio anual de las tasas bancarias.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, o que es lo mismo decir que corresponde al cálculo de la tasa que hace al VAN del proyecto igual a cero (Sapag y Sapag, 1995).

$$TIR \rightarrow VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0$$

donde:

FC_t = Flujo de caja en el año t (Pesos)

n = número de años

t = 1, 2, ..., n.

i = tasa de interés (actualización)

Los resultados de la evaluación económica nos indican que el Valor Actual Neto es de un monto de \$ 1.246.321.154 para los tres años de duración del proyecto. Mientras que la tasa interna de retorno es de 149%. Este valor concuerda con la medición del retorno en investigación (y en menor medida en extensión) realizada por Alston *et al.*, 2000, cuyos resultados se basan en 292 estudios, estos autores reportan tasas de retorno en los siguientes rangos Investigación (58,6%-98,7%), Extensión (56,6%-97,9%) y en Investigación y Extensión (38,5%-64,4%)

c) Comentarios y sugerencias

Si bien los valores de los indicadores VAN y TIR son altos, y que además el proyecto presentaría sustentabilidad en el tiempo, sí los agricultores decidiesen contratar este servicio al CITRA de la Universidad de Talca. No obstante, vale destacar que los valores obtenidos a través de los criterios VAN y TIR, se debe a que los frutales cuentan con márgenes brutos anuales importantes, lo cual distorsiona los valores de rentabilidad al traer la inversión total y los flujos a valor presente. Además, la formulación del proyecto no cuenta con una evaluación *ex - ante* del proyecto. Para lo cual se sugiere realizar una auditoría de los datos contenidos en la base de datos, que permitan corroborar los cálculos obtenidos.

Por otra parte y con la finalidad de evaluar la adopción de tecnología entregada por el Proyecto SEPOR a los beneficiarios directos del Proyecto, se procedió a realizar un modelo *Probit* que permitiera explicar cuantitativamente dicha adopción.

3.2. Adopción de Tecnologías de Riego: uso de información agroclimática y de cultivo

Un productor tiende a adoptar nuevas tecnologías, como prácticas de conservación de recursos naturales, si el efecto esperado representa una mayor utilidad (Ellis, 1993; de Graaff *et al.*, 2008). Sin embargo, ciertas características del productor y del predio, son factores que condicionan la adopción y por lo tanto la decisión varía caso a caso (Soule *et al.*, 2000). Por consiguiente, los modelos de adopción tradicionalmente incluyen variables que reflejan capital humano (*CH*), natural (*CN*), físico (*CP*), social (*CS*) y financiero (*CF*) asociados con el entorno, el predio y el productor (Boyd *et al.*, 2000).

Los estudios relacionados con adopción de tecnologías frecuentemente son motivados a partir de la teoría de maximización de la utilidad (Rahm y Huffman, 1984; Adesina y Zinnah, 1993). De acuerdo con esta teoría, un agricultor adopta una nueva tecnología o tecnologías sólo si la utilidad esperada es mayor que la utilidad asociada con la tecnología actual. Derivado de esta teoría, se encuentra el modelo econométrico conocido como *Probit*, el cual es representado como:

$Prob(y = 1 | x) = \Phi(x\beta)$, donde Φ indica una función de probabilidad acumulativa, normalmente distribuida.

Como ya se mencionó, un agricultor adopta una nueva tecnología si su utilidad esperada es mayor a la tecnología actual, y los factores que determinan esta decisión están relacionados con asociados con el entorno, el predio y el productor. De esta manera el modelo empírico para estimar adopción de tecnología de programación de riego viene dado por la siguiente ecuación:

$$R = f(\text{Edad}, \text{Educación}, \text{Hectáreas}, \text{Frutales}, \text{crédito}, \text{SEPOR}, \text{MauleSur}, \text{MauleCentro})$$

Donde *R*, representa la variable dependiente la cual indica si al menos 1 cultivo de un determinado agricultor es regado utilizando algún tipo de información que permita programar el riego. Las variables independientes o explicativas incluidas en el modelo son.

Edad (años del productor entrevistado), *Educación* en años, *Hectáreas* cultivadas, *Frutales* (variable dicotómica que indica si el cultivo principal del productor es un frutal, se compara con aquellos productores cuyo cultivo principal es anual), *crédito* (variable dicotómica que indica si el productor utilizó algún tipo de crédito para inversiones o para capital de trabajo), la variable *SEPOR* que indica si el agricultor participó en alguna capacitación en tecnologías de programación de riego, finalmente se incluyen variables de localización de los agricultores: *Maule Sur* (Linares, Longaví), *Maule Centro* (Pelarco, San Rafael): estos sectores fueron comprados con los agricultores de la Sexta Región. El Cuadro 3.2.1 muestra una descripción de los datos:

Cuadro 3.2.1. Descripción de las variables utilizadas en el modelo econométrico de adopción

Variable	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
Riego	0,47	-	0	1
Edad	56,84	11,96	35	83
Educación	8,93	4,91	0	18
Hectáreas	12,62	19,39	0,15	110
Frutales	0,67	-	0	1
Cultivos (var. omitida)	0,33	-	0	1
Crédito	0,56	-	0	1
SEPOR	0,31	-	0	1
Maule Sur	0,38	-	0	1
Maule Centro	0,16	-	0	1
Sexta Región (var. omitida)	0,45	-	0	1

Para este análisis se utilizó la encuesta de seguimiento del Proyecto SEPOR y se consideraron 99 entrevistas válidas. Un 47% de los agricultores entrevistados riega al menos uno de sus cultivos utilizando algún tipo de información que permita programar el riego. La edad media de los agricultores de la muestra es de 57 años y en promedio han estudiado 9 años. En promedio se cultivan 12,62 hectáreas, con un mínimo de 0,15 y máximo 110. El sistema productivo es variado; sin embargo, un 67% de los entrevistados

declara que su cultivo principal es un frutal y un 33% indica que se trata de cultivos anuales.

Respecto del capital financiero, un 56% de los agricultores manifiesta utilizar algún tipo de crédito, ya sea para inversiones mayores o para capital de trabajo en la temporada agrícola. Un 31% de los agricultores asistió al menos a una capacitación realizada exclusivamente por el proyecto SEPOR. Finalmente, respecto de las variables de localización, un 38% de los entrevistados pertenece a la zona Maule Sur (Longaví, Linares), un 16% a Maule Centro (San Rafael y Pelarco) y un 45% son agricultores de la Sexta Región.

El Cuadro 3.2.2 muestra los resultados econométricos del modelo de adopción propuesto. En términos globales y de acuerdo la razón de verosimilitud, el modelo es altamente significativo ($p > 0,0051$), y muestra 4 de 8 parámetros de variables significativos al menos al 10%.

Cuadro 3.2.2. Resultados del modelo *Probit* de adopción

Variables	Coefficientes	Error Estándar
Edad	-0,0008 n.s.	0,0140
Educación	0,0263 n.s.	0,0348
Hectáreas	0,0379***	0,0135
Frutales	1,0417**	0,4347
Crédito	0,2172 n.s.	0,3175
SEPOR	1,4203***	0,3848
Maule Sur	-0,5865*	0,3611
Maule Centro	-0,7253 n.s.	0,6254
Constante	-1,5462*	0,9399
n	99	
Razón de verosimilitud	-40,62	
Pseudo R ²	0,407	
Predicción del Modelo (%)	84,85	

n.s. variable no significativa, * variable significativa al 10%, ** variable significativa al 5%, *** variable significativa al 1%.

Los parámetros de las variables *Edad* y *Educación* no son significativos, es decir no presentan resultados concluyentes respecto de la adopción de tecnologías de programación de riego. El parámetro de la variable *Hectárea* es altamente significativo y positivo: una mayor cantidad de hectáreas aumenta la probabilidad de adopción. Según lo indicado por el parámetro de la variable *Frutales*, aquellos agricultores cuyo cultivo principal es un frutal tienen una mayor probabilidad de adoptar tecnologías de programación de riego que los productores con orientación a cultivos anuales. El parámetro de la variable de acceso al crédito es positivo pero no significativo, lo que no permite emitir resultados concluyentes. El parámetro de la variable *SEPOR* es positivo y altamente significativo, es decir, los agricultores que participaron de las capacitaciones entregadas por el Proyecto tienen una mayor probabilidad de adoptar tecnologías de programación de riego que aquellos productores que no participaron. Respecto de las variables de localización, los signos negativos de los parámetros de las variables *Maule Sur* y *Maule Centro*, indican que los

agricultores de estas zonas tienen una menor probabilidad de adopción que los agricultores de la Sexta Región. Lo anterior es significativo sólo para el caso de agricultores de *Maule Sur*.

El efecto individual de cada variable o “Efecto Marginal”, no es posible dilucidarlo directamente de los coeficientes de la ecuación presentada en el Cuadro 3.2.2, ya que se trata de un modelo no lineal. De esta manera, el Cuadro 3.2.3 muestra el efecto individual de cada variable explicativa.

Cuadro 3.2.3. Efectos marginales de las variables utilizadas en el modelo de adopción

Variables	Efecto Marginal	Error Estándar
Edad	-0,0003	0,0056
Educación	0,0105	0,0139
Hectáreas	0,0151***	0,0054
Frutales	0,3943***	0,1481
Crédito	0,0864	0,1258
SEPOR	0,5021***	0,1040
Maule Sur	-0,2306*	0,1380
Maule Centro	-0,2775	0,2179

Al enfocar el análisis solamente a las variables significativas, es posible interpretar algunos resultados que resultan determinantes para medir el impacto de las variables que explican la adopción de uso de tecnologías de programación del riego. El efecto marginal de la variable *Hectáreas* es de 0,0151 y su signo positivo nos indica que si el agricultor aumenta su producción en una hectárea, la probabilidad de adoptar tecnologías de programación del riego aumenta en un 1,5%. El efecto marginal de la variable *Frutales* es positivo y su valor es de 0,3943, señalando que los agricultores que manifestaron que su cultivo principal es un frutal, poseen un 39,4% de mayor probabilidad de adopción de tecnologías de programación de riego con respecto a los productores de cultivos anuales. Respecto de las variables de localización, el valor de la variable *Maule Sur* es de -0,2306, lo que muestra que los agricultores que tienen sus predios en dicha zona poseen un 23% de menor

probabilidad de adopción con respecto a la zona de comparación (Sexta Región). Los agricultores pertenecientes a la zona *Maule Centro* poseen un 27,7% menos de probabilidad de adopción que aquellos de la *Sexta Región*, aunque dicha afirmación es una tendencia, ya que no es significativa en términos estadísticos. En palabras simples, es posible apreciar que los productores de la *Sexta Región*, utilizados como variable de comparación, poseen una mayor probabilidad de adopción que el resto de los agricultores de la muestra.

Respecto de la variable *SEPOR*, ésta presenta el mayor “Efecto Marginal” en relación con el resto de las variables estudiadas. El valor señalado en el cuadro 3 es de 0,5021 y su signo positivo nos indica que aquellos productores que participaron en capacitaciones del proyecto *SEPOR* -independiente de su sistema productivo, cantidad de hectáreas o localización- poseen un 50,2% de mayor probabilidad de adopción de tecnologías de programación del riego que aquellos productores que no fueron capacitados.

El resultado anterior deja de manifiesto la importancia de las capacitaciones realizadas por el CITRA a través del proyecto SEPOR, facilitando así la adopción de tecnologías de programación del riego. El siguiente paso metodológico es cuantificar la adopción en términos de variables como: ahorro de agua, ahorro de energía de los sistemas de regadío, posible aumento de la superficie sembrada/plantada producto del ahorro de agua, entre otras, las que permitirán cuantificar el impacto del proyecto SEPOR en la zona de estudio.

Referencias

- Adesina, A.A. y M.M. Zinnah. 1993. Technology Characteristics, Farmers' Perceptions and Adoption Decisions: A Tobit Model Application in Sierra Leone. *Agric. Econ.* 9:297-311.
- Boyd, C., Turton, C., Hatibu, N., Mahoo, H.F., Lazaro, E., Rwehumbiza, F.B., Okubal, A. P. y Makumbib, M. 2000. The contribution of soil and water conservation to sustainable livelihoods in semi-arid areas of Sub-Saharan Africa. *Agricultural Research and Extension Network*. Network Paper N° 102.
- de Graaff, J., Amsalu, A., Bodnár, F., Kessler, A., Posthumus, H. y Tenge, A. 2008. Factors influencing adoption and continued use of long-term soil and water conservation measures in five developing countries. *Applied Geograp.* 28: 271- 280.
- Ellis, F. 1993. *Peasant economics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rahm, M. y Huffmann, W. 1984. The Adoption of Reduced Tillage: The Role of Human Capital and other Variables. *Amer. J. Agric. Econ.* 66: 405-413.

Soule, M., Tegene, A. y Wiebe, K. 2000. Land Tenure and the Adoption of Conservation Practices. *Amer. J. Agr. Econ.* 82(4): 993-1005.

CAPÍTULO 4

Desarrollo SEPOR

Dentro de las actividades de desarrollo programadas en el SEPOR, la propuesta original consideró las siguientes actividades de desarrollo para apoyar a las OUA en la gestión la programación del riego

Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Desarrollo de un software experto para el manejo de la información proveniente de las EMAs.

A continuación se presenta un resumen de los productos señalados, cuyos manuales se encuentran en los anexos.

4.1. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Se desarrolló un SIG para las zonas de influencia del proyecto SEPOR. El proceso involucró actividades destinadas a recopilar, sistematizar y completar información geográfica y de tablas, disponibles en diversas fuentes (Junta de vigilancia del Río Longaví y sus afluentes, Asociación Canal Maule, y Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Cachapoal, Comisión Nacional del Riego, Serplac, CONAMA y CONAF) para integrarlas en una base de datos que pueda ser gestionada por un Sistema de Información. Los resultados obtenidos en esta sección, se pueden resumir en la caracterización espacial de las zonas del proyecto a través de una base de datos geográficos vectoriales y de atributos, que recopiló las variables de interés para las asociaciones de regantes beneficiados por el proyecto. Dicha información podrá ser manejada empleando un software de SIG, que permitirá agregar o eliminar nuevos elementos en las variables existentes o producir nuevas variables, usando la espacialización de objetos de interés en el territorio.

El objetivo general considerado para este tópico fue la generación de un SIG que permite gestionar e integrar la información espacial y de atributos que se encuentre disponible en diversas fuentes, más la generada por el proyecto SEPOR para las zonas de intervención.

4.1.1. Metodología Empleada

La metodología se desarrolló a través de las siguientes etapas:

a. Recolección y revisión de información espacial y de atributos existente para las zonas de influencia del proyecto. Para ello se consideró una recopilación de antecedentes e información geográfica existente para los territorios de Maule Norte, Longaví y Cachapoal. Se estableció que la información necesaria para el proyecto se encontraba disponible y correspondió a los siguientes elementos:

- Información topográfica base, escala 1:50.000, actualizada al año 97/98 disponible en la Serplac de la Región de O'Higgins y del Maule.
- Información climática, disponible en las asociaciones del canal Maule, Junta de vigilancia del Río Longaví y Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Cachapoal.
- Información medioambiental, disponible en CONAMA.
- Información de suelos, disponible en la CNR.
- Información de recursos hídricos (subterráneos y superficiales), disponible en la CNR y la Serplac de la Región del Maule y O'Higgins.
- Información infraestructura de riego, disponible en las asociaciones del canal Maule, Junta de vigilancia del Río Longaví y Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Cachapoal.
- Información de infraestructura hídrica (acuíferos subterráneos y captaciones de agua), disponibles en la CNR.
- Información cubierta superficial, disponible en la Serplac y CONAF de la Región de O'Higgins y del Maule.

Se identificó el tipo de información disponible y la fuente o institución poseedora de la misma. Posteriormente, a través de reuniones con la CNR, se evaluó la utilidad de las diversas fuentes de información, a objeto de determinar la pertinencia de disponer de ellas e integrarlas a la base de datos en confección.

Una de las ventajas de este SIG es que aún cuando se lleve a cabo la recolección, adecuación e integración de la mayor parte de la información que conforma la base de datos digital, los usuarios podrán utilizarla e ir anexando nuevas capas de información

proveniente de fuentes distintas a las mencionadas, esto permite complementar las capas ya recolectadas con información adicional, enriqueciendo de esta forma la base de datos.

4.1.2. Resultados

El SIG desarrollado, fue presentado en el informe técnico de junio de 2009. Este fue corregido, en base a las observaciones de la CNR y se generó: 1 cd con la base de datos más un manual de instrucciones que son presentados en el Anexo 2.

4.2. Sistema de administración de datos EdSEPOR

El sistema de administración de datos desarrollado para la operación de las EMAs del SEPOR se denominó “Sistema Para la Extracción de Datos del proyecto SEPOR a través de la Web - edSEPOR-WEB (ver. 2.2.1). Este sistema fue diseñado para permitir la visualización de los datos agroclimatológicos obtenidos desde las estaciones meteorológicas automáticas puestas en terreno, además de incorporar un módulo para introducir datos pertinentes de suelo y planta, de manera de apoyar al usuario en la realización de la programación de riego, en forma personalizada. El sistema verifica la disponibilidad de los datos, administra a los usuarios que ingresan al sistema, permite la descarga de datos en hojas de cálculo y la visualización de los datos en gráficos interactivos. El sistema permite generar y descargar boletines semanales en formato pdf, entre otras.

4.2.1. Metodología Empleada

El edSEPOR-WEB ver 2.2.1 está diseñado en base a PHP y JavaScript, utilizando una base de datos MySQL. Para el desarrollo de esta plataforma sólo se utilizaron herramientas de Software Libre como Quanta 3.5.9, Apache 2.2.9, PHP 5.2.6, MySQL 5.0.5, GIMP 2.4.7, Inkscape 0.46, bajo Debian GNU/Linux 5.0.

4.2.2. Resultados

Los resultados del desarrollo de edSEPOR así como manual de usuario son presentados en el Anexo 3.

CAPÍTULO 5

Transferencia tecnológica

5.1. Servicio de Asesoría en Programación del Riego

El objetivo preponderante de esta actividad, fue la asistencia permanente en la operación del equipamiento y la programación del riego de los agricultores beneficiados por los servicios del SEPOR, en términos de regulación, operación, manipulación y mantención de los mismos. Se priorizó la capacitación de agricultores líderes, donde la planificación consideró intervenir, mediante atención personalizada, a 40 el primer año, 80 el segundo y 120 el tercer año a fin de, con el apoyo de ellos, difundir la tecnología hacia el resto de los agricultores, mediante la creación de grupos de interés (GTT), compuestos por 4 a 6 agricultores por cada agricultor líder. La planificación original contempló integrar a productores seleccionados por las diferentes OUA para lograr este objetivo. Considerando que la temporada de riego agrícola estacionalmente corresponde a los meses finales de un año (septiembre a diciembre) y los iniciales del siguiente (enero a abril), al momento del cierre de este informe, se continúa prestando el servicio y se van a incorporar nuevos productores pequeños y medianos asociados a la agroindustria, por lo que la asesoría en programación del riego continuará durante la temporada 2009-2010 de manera de completar los 3 años de asesoría contemplada inicialmente en el proyecto SEPOR.

De acuerdo a la planificación original, la asesoría o asistencia técnica en programación del riego fue realizada durante las temporadas agrícolas 2007-2008 y 2008-2009 a un grupo de pequeños y medianos productores asociados a la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Cachapoal, a la Asociación Canal Maule Norte y a la Junta de Vigilancia del Río Longaví.

Los regantes asistidos pertenecientes a la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Cachapoal se encuentran ubicados en las comunas de San Vicente de Tagua-Tagua, Coltauco, Doñihue y Coinco. Para la región de O'Higgins también se incluyeron productores de otras comunas como Quinta de Tilcoco, Rengo, Placilla y San Fernando debido al interés por participar del proyecto. En la zona de Maule Norte, los agricultores asesorados correspondieron a las comunas de San Clemente, Maule, Linares y Colbún, En

la zona asociada a la Junta de Vigilancia del Río Longaví, los agricultores asesorados estuvieron ubicados en las comunas de Longaví, Retiro y Linares.

5.1.1. Metodología

La asistencia técnica consistió en realizar visitas periódicas en terreno (semanales y quincenales) a cada uno de los productores seleccionados. La visita consistió en la entrega de recomendaciones para la toma de decisiones de programación de la frecuencia y tiempo de riego en cuarteles seleccionados por cada productor (asesoría personalizada). De acuerdo a las características particulares de cada productor y a su nivel tecnológico, fue necesario hacer una categorización del tipo de asesoría a prestar. Lo anterior, intentando suplir las necesidades evidenciadas tanto por la inspección técnica en terreno, así como las sugerencias de las OUA y la CNR. De esta forma, las asesorías se dividieron como se señala a continuación:

1. Asesoría Completa: incluyó el monitoreo de la humedad del suelo utilizando el sensor de humedad de suelos TDR, para determinar el momento óptimo de aplicación del riego, según umbrales de riego establecidos a través de la determinación de las constantes hídricas y capacidad de estanque (capacidad de campo CC y punto de marchitez permanente PMP). Adicionalmente a cada beneficiario se le hizo una caracterización de las propiedades físico-hídricas, mediante un estudio de suelo a inicios del período de visitas, excavando una calicata a la profundidad de raíces del cultivo. A su vez, se procedió a describir los distintos horizontes del perfil de suelo extrayendo las muestras respectivas y llevándolas a laboratorio, donde se efectuó la determinación de la textura y constantes hídricas CC y PMP. Utilizando dichas constantes hídricas se establecieron valores umbrales de riego, considerando un nivel de agotamiento del 50% de la humedad aprovechable como criterio de riego, lo cual fue monitoreado con TDR. Estos criterios indican el porcentaje de agua de la humedad aprovechable que se puede consumir antes de ser el momento adecuado para volver a regar, sin afectar el normal desarrollo de los cultivos.

Mediante el TDR se pudo medir en terreno el contenido volumétrico de agua del suelo en forma indirecta. Cada punto de medición con TDR consistió en un par de varillas de acero inoxidable de 60, 45 ó 30 cm (según cada caso en particular), las cuales fueron instaladas

en cada cuartel monitoreado, quedando en forma permanente durante el período de la asesoría. En algunos de los cuarteles asesorados, se detectó la presencia de napas freáticas, lo que obligó a reorientar las recomendaciones de riego.

De manera adicional, y según cada caso, se entregó la información de consumo de agua de los cultivos para la toma de decisiones de programación de la frecuencia y tiempo de riego. Esto se efectuó sobre la base de los valores de evapotranspiración de referencia ETo estimados semanalmente por el módulo central del SEPOR y ajustados por los coeficientes de cultivo (Kc) obtenidos de la literatura.

2. Asesoría Básica: incluyó el monitoreo de la humedad del suelo utilizando calicatas. A través de una manera sencilla y didáctica se explicaba al productor como determinar el contenido de humedad según el tipo de suelo donde aplicaba el riego, considerando la profundidad de raíces del cultivo y algunas condiciones particulares de cada suelo como presencia de piedras, napa freática, estrata endurecida, etc. A su vez se entregaban algunos conceptos básicos sobre el consumo de agua de los cultivos y como toda esta información se emplea para determinar la programación de la frecuencia y tiempo de riego.

5.1.2. Agricultores Asesorados

A continuación se detalla el listado de agricultores asesorados durante el período de ejecución del proyecto (temporada 2007-2008, 2008-2009 y 2009-2010) para las zonas de Cachapoal (Cuadro 5.1.2.1 y 5.1.2.3), Maule (Cuadro 5.1.2.4.) y Longaví (5.1.2.5 y 5.1.2.6).

Cuadro 5.1.2.1. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2007-2010 Zona Cachapoal

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
1	Cristóbal González	Romeral	San Vicente TT.	Naranjos	Goteo	San Vicente	X	X	X
2	José Miguel Calvo	Toquihua	San Vicente TT.	Arándanos	Goteo	San Vicente		X	X
3	Huertos de Toquihua	Toquihua	San Vicente TT.	Uva de mesa	Goteo	San Vicente		X	X
4	Agrícola El Molino	La Estacada	San Vicente TT.	Uva de mesa	Goteo	San Vicente		X	X
5	Marcela Montero	Toquihua	San Vicente TT.	Paltos	Goteo	San Vicente		X	X
6	Juan Carlos Correa	El Cardal	San Vicente TT.	Uva de mesa	Goteo	San Vicente	X	X	X
7	Víctor Hugo Barrera	Tunca	San Vicente TT.	Tomates	Surco	San Vicente	X	X	
8	Pedro Aspillaga	Tunca	San Vicente TT.	Kiwis	Tendido	San Vicente	X	X	X
9	Marcelo González	Tunca	San Vicente TT.	Naranjos	Goteo	San Vicente	X	X	X
10	M ^a Angélica Toledo	Tunca	San Vicente TT.	Uva de mesa	Tendido	San Vicente	X	X	X
11	Agrícola Los Almendros	Romeral	San Vicente TT.	Ciruelos	Goteo	San Vicente			X
12	Agrícola Sta. Catalina	El Cardal	San Vicente TT.	Uva de mesa	Goteo	San Vicente			X
13	Héctor Aránguiz	Copequén	Coinco	Duraznos	Surco	Coinco		X	X
14	Carlos Oyarzún	Copequén	Coinco	Paltos	Surco	Coinco		X	X
15	Benjamín Pérez	Copequén	Coinco	Maíz grano y Tomates	Surco	Coinco		X	X
16	Marco Labra	Copequén	Coinco	Manzanos (en formación)	Surco	Coinco		X	X
17	Marco Pino	Copequén	Coinco	Duraznos (en formación)	Surco	Coinco		X	X
18	Patricia Olguín	Copequén	Coinco	Flores	Cinta	Coinco		X	X
19	José Miranda	Copequén	Coinco	Duraznos	Surco	Coinco		X	

Cuadro 5.1.2.2. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2007-2010 Zona Cachapoal

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
20	Agrícola El Aromo	Copequén	Coinco	Manzanos	Surco	Coinco			X
21	Viveros Copequén	Copequén	Coinco	Cerezos	Surco	Coinco			X
22	Ana Ruz	Rinconada de Parral	Coltauco	Maíz semillero	Surco	El Sauce		X	X
23	Claudio Miranda	Quimávida	Coltauco	Duraznos	Surco	Los Bronces		X	X
24	Arturo Tello	Hijuela del medio	Coltauco	Duraznos	Surco	El Sauce		X	X
25	Ricardo Correa	Hijuela del medio	Coltauco	Duraznos (en formación)	Surco	El Sauce		X	X
26	Esc. Agr. Sn Vte de Paul	Quimávida	Coltauco	Maíz grano	Surco	Los Bronces	X	X	X
27	Alfredo Riveros	Lo de Cuevas	Coltauco	Duraznos	Surco	Los Bronces		X	X
28	Juan Quiroz	Lo de Cuevas	Coltauco	Duraznos	Bordes	Los Bronces		X	X
29	Tobías Miranda	Lo de Cuevas	Coltauco	Duraznos	Bordes	Los Bronces		X	X
30	Pedro Acevedo	Doñihue	Doñihue	Maíz grano	Surco	Los Bronces		X	X
31	Hijuela Sta. Filomena	Doñihue	Doñihue	Ciruelos	Surco	Los Bronces		X	X
32	Agroindustrial Los Bronces	Los Bronces	Coltauco	Peras	Bordes	Los Bronces		X	X
33	Jaime Sánchez	Los Bronces	Coltauco	Manzanos	Surco	El Sauce		X	X
34	Pedro Silva	Doñihue	Doñihue	Peras (en formación)	Surco	Los Bronces		X	X
35	Sergio Oyarce	Los Bronces	Coltauco	Paltos	Goteo	Los Bronces		X	X
36	Viñedos El Boldo	Doñihue	Doñihue	Uva vino	Surco	Los Bronces		X	X
37	Campaña Goicolea	Hijuela del medio	Coltauco	Uva vino	Goteo	Los Bronces		X	X

Cuadro 5.1.2.3. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2007-2010 Zona Cachapoal

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
38	Agr. San Roque	Los Gomereros	Rengo	Uva de mesa	Goteo	---		X	X
39	Agr. Casas de Apalta	Apalta	Rengo	Cerezos	Goteo	---		X	X
40	Manuel Calvo	Las Hijuelas	Quinta de Tilcoco	Arándanos (en formación)	Goteo	---		X	X
41	Mónica Cruz	Las Hijuelas	Quinta de Tilcoco	Kiwis (en formación)	Goteo	---		X	X
42	Iván Silva	El Romeral	Quinta de Tilcoco	Tomate invernadero	Cinta	---			X
43	Luis Carrasco	Avenida Argomedo	Quinta de Tilcoco	Cerezos	Bordes	---			X
44	Jaime Zúñiga	Huacargue	Quinta de Tilcoco	Flores	Cinta	---			X
45	Raúl Trincado	El Huapi	Quinta de Tilcoco	Melones	Cinta	---			X
46	Abraham Valencia	Carrizal	Quinta de Tilcoco	Paltos	Tendido	---			X
47	Ángel Carmona	Las Hijuelas	Quinta de Tilcoco	Cebollas	Surco	---			X
48	Claudia Schneider	Lo Moscoso	San Fernando	Cerezos (en formación)	Goteo	---		X	X
49	Agrícola Doña Ana	Lo Moscoso	San Fernando	Ciruelos (en formación)	Goteo	---		X	X
50	Agrícola Barros Negros	Lo Moscoso	Placilla	Uva de mesa	Goteo	---		X	X
51	Agrícola Cerro Verde	Lo Moscoso	Placilla	Ciruelos (en formación)	Goteo	---		X	X

Cuadro 5.1.2.4. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2007-2010 Zona Maule Norte

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
1	Julio Garrido	Colín	Maule	Tomate	Goteo	---			
2	Wilfredo Salgado	Colín	Maule	Tomate	Goteo	---			
3	Oscar Salgado	Colín	Maule	Tomate	Goteo	---			
4	Abelardo Villacura	Colín	Maule	Flores	Goteo	---			
5	José Luado (FRUCOL)	Colbún	Colbún	Frambueso	Surco	---			
6	Jorge Pacheco	San Antonio Encina	Linares	Frambueso	Surco	---			
7	Julio Rodríguez	San Antonio Encina	Linares	Frambueso	Surco	---			
8	Claudio Garrido	San Antonio Encina	Linares	Frambueso	Surco	---			
9	Palmenia Medina	San Antonio Encina	Linares	Frambueso	Surco	---			
10	Irene Díaz	Corralones	San Clemente	Frambueso	Goteo	La Calor			
11	Maximiliano Rojas	Corralones	San Clemente	Frambueso	Surco	La Calor			
12	René Contreras	Corralones	San Clemente	Frambueso	Goteo	La Calor			
13	Walter Norambuena	Corralones	San Clemente	Frambueso	Goteo	La Calor			
14	Ruben Pavez	Corralones	San Clemente	Frambueso	Goteo	La Calor			
15	Manuel Loyola	Miraflores	San Clemente	Frambueso	Goteo	La Calor			
16	Sebastián Meza	Miraflores	San Clemente	Frambueso	Surco	La Calor			
17	Anibal Díaz	Miraflores	San Clemente	Frambueso	Surco	La Calor			
18	José Farias	Miraflores	San Clemente	Frambueso	Surco	La Calor			
19	Héctor Ponce	Miraflores	San Clemente	Frambueso	Surco	La Calor			

Cuadro 5.1.2.5. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2008-2010 Zona Longaví

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
1	Teófilo Zurita	Maitenes	Retiro	Arándano	Goteo	Retiro	X	X	X
2	Teófilo Zurita	Maitenes	Retiro	Kiwi	Surco	Retiro		X	X
3	Francisco Tagle	Camelia	Retiro	Manzano	Microaspersión	Parral	X	X	X
4	Francisco Tagle	Camelia	Retiro	Arándano	Goteo	Parral	X	X	X
5	Hugo Soto	La Orilla	Retiro	Arándano	Goteo	Parral	X	X	X
6	Juan Alberto Hernández	Retiro	Retiro	Manzano	Microaspersión	Retiro	X	X	X
7	Juan Alberto Hernández	Retiro	Retiro	Kiwi	Microaspersión	Retiro			X
8	Juan Alberto Hernández	Retiro	Retiro	Arándano	Goteo	Retiro			X
9	Sergio Toledo	Esperanza	Longaví	Arándano	Goteo	Longaví	X	X	X
10	Sergio Toledo	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Goteo	Longaví			X
11	Alejandro Araya	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
12	Alfredo Araya	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
13	Berta Briones	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
14	Adriana Retamal	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
15	José Guzmán	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
16	José San Martín	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
17	José San Martín	Esperanza	Longaví	Espárrago	Surco	Longaví		X	X
18	Sebastián Carrión	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Goteo	Longaví		X	X
19	Sebastián Carrión	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X

Cuadro 5.1.2.6. Agricultores en Asesoría de Riego Temporada 2008-2010 Zona Longaví

N°	Nombre productor	Ubicación Sector	Comuna	Cultivo asesorado	Sistema de riego	EMA asociada	Temporada de atención		
							2007-08	2008-09	2009-10
20	Sebastián Carrión	Esperanza	Longaví	Espárrago	Surco	Longaví		X	X
21	Atiliano Cerda	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
22	José Parra	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	
23	Ana Méndez	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
24	Alfredo Medina	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
25	Lucy Valenzuela	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
26	Berta Ortega	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
27	Eliana Meza	Esperanza	Longaví	Frambuesa	Surco	Longaví		X	X
28	Misael Fernández	Huacarneco	Retiro	Maiz grano	Surco	Retiro		X	
29	Misael Fernández	Huacarneco	Retiro	Kiwi	Microaspersión	Retiro		X	X
30	Misael Fernández	Huacarneco	Retiro	Manzano	Microaspersión	Retiro			X
31	Soc. Agric. Esperanza	-	Linares	Kiwi	Microaspersión	-		X	X
32	Soc. Agric. Los Robles	-	Linares	Kiwi	Microaspersión	-		X	X
33	Viñedos Crucesillas	-	Linares	Kiwi	Microaspersión	-		X	X
34	Agric. Flor Negra	-	Linares	Kiwi	Microaspersión	-		X	X
35	Agric. Flor Negra	-	Linares	Summerkiwi	Microaspersión	-		X	X
36	Roberto Iribarren	-	Linares	Kiwi	Microaspersión	-		X	X
37	Eduardo Alvarez	El Ajial	Retiro	Arándano	Goteo	Retiro			X
38	Edgardo Vásquez	Romeral	Retiro	Arándano	Goteo	Retiro			X

5.1.3. Resultados y Percepciones del Servicio

A continuación se presenta una recopilación de las impresiones de los diferentes productores asociados a cada una de las zonas de intervención del proyecto SEPOR con el objetivo de reflejar los principales impactos que ellos percibieron por el servicio de asesoría recibido.

Asesoría Junta de Vig. 2ª Sección Río Cachapoal

En base a lo observado y a las conversaciones sostenidas durante las visitas con cada uno de los productores asesorados en Cachapoal, se pueden mencionar algunos aspectos positivos que permiten concluir que han incorporado conceptos a su manejo del riego y con ello obtenido algunos beneficios. A través de las mediciones periódicas de humedad de suelo y determinación de las constantes hídricas algunos productores aprendieron el concepto de frecuencia de riego. Ellos asimilaron que al medir el contenido de agua del suelo se puede determinar el momento oportuno del riego conociendo el nivel de humedad que indica que debe regarse ó umbral de riego (denominado por algunos como “grado de humedad”), bajo el cual el suelo se secaría en exceso lo que puede afectar el cultivo.

La metodología implementada permitió ajustar la frecuencia y tiempo de riego óptimos, lo cual fue reflejado en el cultivo. Lo anterior queda reflejado en lo visto y manifestado por 2 agricultores asesorados quienes observaron mejoras después de haber sido intervenidos con la asesoría. En el primer caso, el agricultor manifestó que mejoró considerablemente la condición vegetativa de su huerto de paltos, ya que una vez comenzada la asesoría se recuperó la tonalidad verde de los árboles que antes se observaban muy amarillos. En el segundo caso, el agricultor menciona que el crecimiento de los manzanos (en formación) ha sido homogéneo a pesar de tener dos condiciones de suelo absolutamente diferentes. En el huerto de este agricultor se monitorea la humedad de suelo en el sector más pobre, el cual posee un alto contenido de arena y piedras. En ambos casos los agricultores atribuyen estos beneficios a las mejoras que se han hecho con la asesoría técnica en programación del riego SEPOR.

Un gran número de productores nunca antes había realizado calicatas para monitorear el riego. A través de la revisión de calicatas se pudieron dar cuenta de las variaciones en el contenido de humedad del suelo y con ello entender que las frecuencias y tiempos de riego no son fijos si no que se deben ajustar al contenido de agua que posea el suelo en algún momento determinado de la temporada. Lo mismo se pudo apreciar en términos del consumo de agua de los cultivos ya que observaron que en el período de mayor expresión vegetativa el cultivo extrae más agua del suelo, lo que hace variar la frecuencia de riego.

A través de la revisión de calicatas algunos productores también pudieron aprender a diferenciar las variaciones en el tipo de suelo tanto en superficie (totalidad del cuartel) como en profundidad (zona de raíces), ya que antes de la asesoría asumían que todo el suelo era homogéneo. Al revisar las calicatas se pudieron dar cuenta que la frecuencia y tiempo de riego varían de acuerdo al tipo de suelo, lo cual efectivamente se pudo ajustar en la mayoría de los casos. Un agricultor manifestó que al conocer las variaciones en el tipo de suelo y contenido de humedad a lo largo del surco de riego, pudo entender las variaciones en el crecimiento del cultivo (maíz semillero), lo cual hizo entender que el largo de surcos no era el óptimo y debe corregirse para la temporada siguiente (Figura 5.1.3.1).



Figura 5.1.3.1. Asistencia técnica en terreno, Región de O'Higgins.

Asesoría Canal Maule

En esta zona de Canal Maule se dividió en tres grupos de productores. La primera correspondió a la zona de Linares – Colbún, que estrictamente no pertenecen a este canal, pero accedieron al servicio considerando que cumplían las características de seleccionabilidad estipuladas en el proyecto y que se acordó ampliar la cobertura a otras organizaciones. Típicamente estos productores manejaban sistemas de riego gravitacional para frutales menores.

El segundo grupo correspondió a un grupo de productores del sector de Colín, en Talca que típicamente maneja cultivos forzados (tomate de invernadero y hortalizas). La mayoría hacen riego por cintas diseñados por ellos mismos, sin considerar factores como pendiente y erosionabilidad de suelos y que de acuerdo a sus solicitudes, se incorporaron como temas a tratar en días de campo.

El grupo más numeroso correspondió a los productores de Corralones, en San Clemente, que se caracterizan por ser productores de frutales menores, principalmente frambuesa, asociados a una cadena de comercialización, pues manejan un centro de acopio en un packing. Un porcentaje importante de ellos tenían huertos que aun no entraban en plena producción, por la asesoría fue un apoyo vital para ellos, pues recién estaban integrándose a las técnicas de riego tecnificado, presentando muchas dudas de cómo manejar las técnicas de riego. Adicionalmente, se programó el riego a productores de tomate industrial, asociados a los ensayos y que trabajaron para la agroindustria.

En términos generales, de acuerdo a la opinión de los productores, manifestaron que mejoraron la distribución de agua en el suelo, para sistemas de riego gravitacionales y que en términos de planta se evidenciaron plantas más sanas, con mejor expresión vegetativa, sin afectar el crecimiento reproductivo. Además para los frutales menores, se mejoró la percepción de calidad de la fruta en la cosecha.

Asesoría Junta de Vig. Río Longaví

En la zona de Longaví (Figura 5.1.3.2) se distinguieron tres grupos marcados de productores divididos según ubicación y tipo de asesorías.

Un primer grupo son los agricultores del sector de Longaví, principalmente productores de frambuesas con superficies pequeñas, los que fueron visitados a partir del período inicial de cosecha. Para ellos la asesoría consistió básicamente en charlas personalizadas sobre riego pero en el sentido de cómo mejorar su sistema y solucionando algunos problemas puntuales (mucho o poco tiempo de riego). Para estos agricultores la falta de agua no permite realizar una programación de riego ya que tienen disponibilidad de agua cada 15 días en promedio (riego por turnos), pero aún bajo esas circunstancias se pudo mejorar la aplicación hídrica de dos formas: conociendo su suelo (distribución de raíces y también aprendiendo el uso del barreno y calicata) y en lo posible coordinándose con el agricultor vecino de manera de repartir mejor los turnos para así aplicar riegos más frecuentes y más cortos. Hubo un productor que tenía frambuesas de un año de edad, al cual había incorporado sistema de riego por goteo, pero sin una programación adecuada. Aquí se desarrolló una metodología de irrigación basada principalmente en el barreno, pues antes aplicaba tiempos de riego excesivos humedeciendo en profundidad más allá de la zona de raíces, consiguiendo con esto un ahorro de agua.

El segundo grupo es el de productores de Kiwis, los que se visitaron en períodos previos a la cosecha, debido a la inquietud de estos agricultores por conocer el comportamiento de la humedad debido a cortes programados de riego y su relación con la acumulación de sólidos solubles.

El último grupo es el de los productores con asesoría tipo uno, los que en su mayoría vienen de la primera temporada de atención, por lo que la implementación de un sistema de programación no es nuevo para ellos, manifestando la inquietud de productores vecinos por incorporarse al sistema. Estos agricultores contaban con la información de suelo necesaria para las recomendaciones de riego. En todos estos productores se observó una baja en la

humedad pasado el mes de febrero, pues acostumbraban a suspender los riegos a partir de esta fecha, pero se demostró con las mediciones y el uso del barreno la necesidad de las plantas por agua. En los casos donde esto era más crítico, porque el sistema de riego no lo permitía, se recomendó aplicaciones hídricas en la entre hilera con tacos para aumentar la altura de agua (riego por bordes).



Figura 5.1.3.2. Asistencia técnica en terreno, Región del Maule.

humedad pasado el mes de febrero, pues acostumbraban a suspender los riegos a partir de esta fecha, pero se demostró con las mediciones y el uso del barreno la necesidad de las plantas por agua. En los casos donde esto era más crítico, porque el sistema de riego no lo permitía, se recomendó aplicaciones hídricas en la entre hilera con tacos para aumentar la altura de agua (riego por bordes).

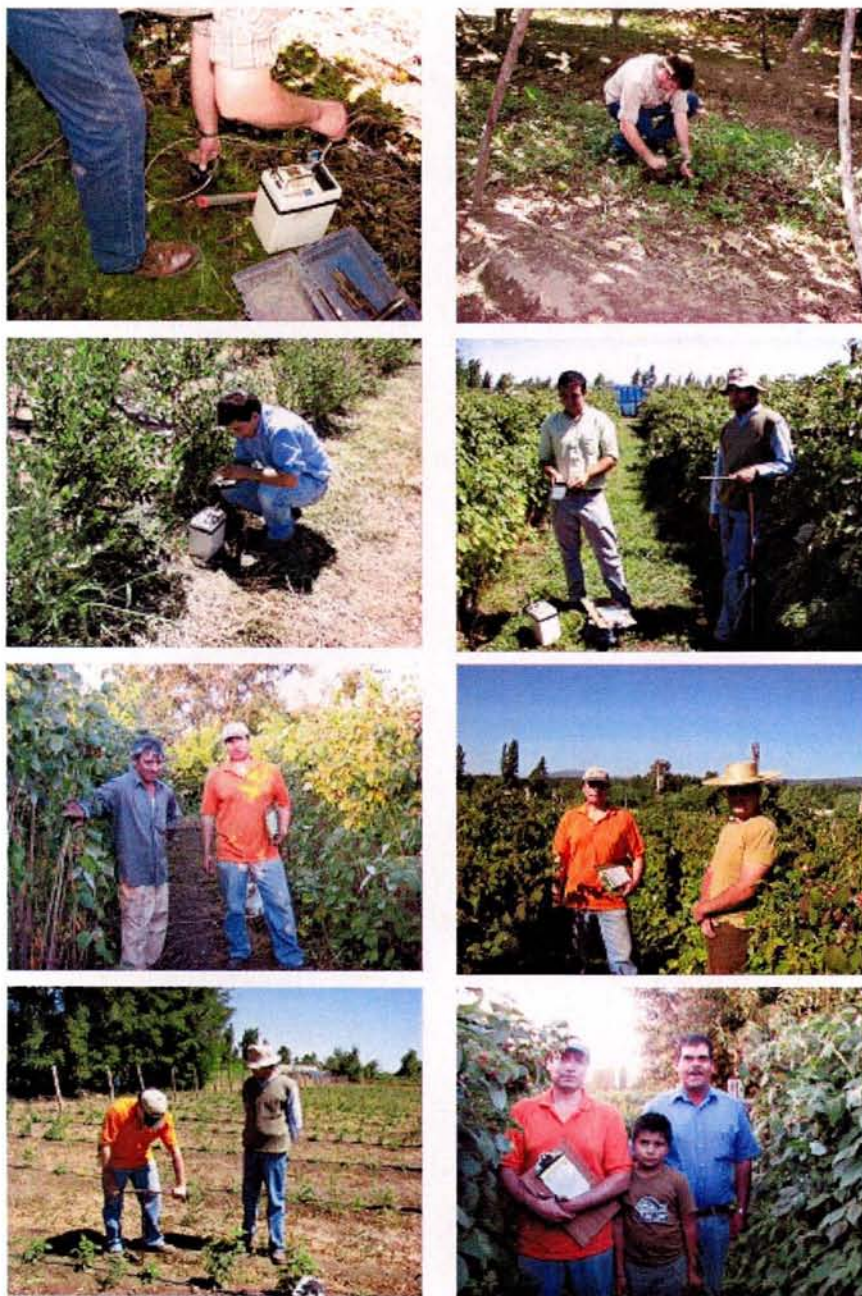


Figura 5.1.3.2. Asistencia técnica en terreno, Región del Maule.

5.1.4. Conclusiones

Al momento de cierre de este informe, el número de productores intervenidos para la temporada de riego 2009-2010, es de 108 y existen otros en proceso de definición, por lo que se espera lograr el total considerado inicialmente. En la temporada 2008-2009 se atendió un total de 102 productores.

Los resultados obtenidos muestran en general una buena percepción por los productores del Servicio de programación del riego SEPOR, donde ellos señalaron como principales el ahorro de agua, ahorro de energía eléctrica (riego localizado), ahorro de mano de obra (regadores) en riego gravitacional; menor incidencia de asfixia radicular, aumento del rendimiento con la misma/menor cantidad de agua, aumento del calibre y color en frutos, homogenización del crecimiento en huertos recién plantados y mejoramiento de la condición vegetativa en huertos adultos.

Cabe señalar que durante el período de ejecución del proyecto fue cada vez mayor el uso de la plataforma de información agroclimática en línea para consulta de datos climáticos (www.sepor.cl). Debido a esto, es que se realizaron talleres aplicados donde se enseñó a los productores a utilizar esta plataforma, de manera de obtener el máximo provecho a la información entregada por las EMAS del proyecto SEPOR.

En términos generales los agricultores manifestaron estar conformes con la asistencia técnica entregada, a través de la cual pudieron aprender y darse cuenta de la evolución de la humedad del suelo y así ajustar la frecuencia y tiempo de riego a cada cultivo en particular. Además que fue un servicio novedoso para algunos ya que nunca antes habían incorporado conceptos y tecnologías para programar el riego.

5.2. Transferencia de Tecnología y Capacitación

La propuesta originalmente consideró tópicos de transferencia oral y escrita, con los siguientes objetivos:

- a. Capacitar a los regantes en las metodologías que serán implementadas en el SEPOR, y capacitación de los agricultores para el monitoreo de sus prácticas de riego con las recomendaciones que entregará el SEPOR.
- b. Capacitar a técnicos y profesionales que se desempeñan en funciones de apoyo a la producción y desarrollo de la agricultura regada.
- c. Transferir a las organizaciones de regantes, y a los regantes, los conceptos fundamentales y metodologías de gestión de riego, de operación y mantención de equipos de riego, así como los aspectos técnicos y económicos en el uso de información de clima, suelo y cultivo aplicada al riego de los cultivos.
- d. Traspasar el resultado de la investigación aplicada los usuarios en forma directa, y proveer de los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para operar mejor sus sistemas de riego y por consecuencia sus sistemas de producción.

Los mecanismos se dividieron diferentes actividades tanto orales como escritas, los cuales se planificaron de acuerdo a la siguiente entrega (Cuadro 5.2.1.):

Cuadro 5.2.1. Resumen actividades planificadas de transferencia oral y escrita

MECANISMO	USUARIO	Nº TOTAL POR AÑO
Cursos	Profesionales y técnicos, productores	2
Seminarios	Públicos y privados	2
	Profesionales, Técnicos y Productores	
Días de Campo	Profesionales, Técnicos, Encargados de los campos y Productores	6
Reuniones grupales en Módulos Demostrativos	Productores y personal de Asociaciones de Regantes	12
Talleres interactivos	Productores y personal de Asociaciones de Regantes	2

Al respecto, se presenta a continuación un resumen con la totalidad de las actividades hechas hasta la fecha de cierre del informe.

Respecto a los **Cursos de Capacitación** (Cuadro 5.2.2), se observa en el balance general, que de los 6 comprometidos para el período, se realizaron 7. Durante el año 2008 no se hicieron cursos, básicamente porque la totalidad de las actividades planificadas para inicio de la temporada de riego 2008-2009, se trasladaron al primer trimestre de 2009, para dar respuesta a los requerimientos de los beneficiarios, adaptando los cursos y las metodologías a las necesidades de tiempo cada uno.

Cuadro 5.2.2. Resumen cursos realizados para el proyecto SEPOR, período 2007-2009

Año	Fecha	Tema	Nº asistentes
2007	28 Junio	Relación Suelo-Agua-Planta (2ª Sección Cachapoal)	22 personas
	14 Agosto	Relación Suelo-Agua-Planta (Canal Maule y J. Vig. Río Longaví)	12 personas
2008		No se realizaron actividades de esta índole, pues se agendaron para enero de 2009	
2009	22 Enero	Programación del riego en arándano: Lugar: Frucol – Linares.	10 personas
	17 Enero	Aspectos a mejorar del riego superficial, Lugar: Copequén	7 personas
	22 Enero	Aspectos a mejorar del riego superficial, Lugar: Doñihue	10 personas
	22 Enero	Programación del riego en frambueso, Lugar: Linares	16 personas
	11 Julio	Gestión del riego a nivel predial, Lugar: Copequén	8 personas

En cuanto a los **Talleres Interactivos**, se presenta a continuación el balance correspondiente (Cuadro 5.2.3.). Cabe señalar que para el año 2008, estas actividades fueron reemplazadas por la asistencia de los Sres. Edison Araya (J.Vig. Río Longaví) y Cristian Beas (Canal Maule Norte) al diplomado de riego tecnificado, medida que fue aprobada por el comité del SEPOR en el acta de la reunión del 1^{ero} de Septiembre de 2008. El balance general de talleres da como resultado que se cumplió con el 100% de las actividades, si se considera la capacitación recibida a través del diplomado de riego del año 2008. Al respecto, no hubo interesados de parte de la Junta de Vigilancia del Río Longaví para participar en esta actividad, por lo que sólo asistieron los señores Beas y Araya.

Cuadro 5.2.3. Resumen talleres interactivos realizados para el proyecto SEPOR, período 2007-2009

Año	Fecha	Tema	Nº asistentes
2007	24 Octubre	Uso de planillas electrónicas para la programación del riego (Talca)	12 personas
	15 Noviembre	Uso de sistema Addvantage (Talca)	16 personas
2008		Se reemplazó 2 actividades de capacitación por la participación en diplomado riego 2008 de Edison Araya y Cristián Beas	
2009	25 de Mayo	Uso de información climática en línea para la programación del riego (Coltauco)	15 personas
	18 de Junio	Sistema de información climática en línea para la programación del riego (Chimbarongo)	9 personas

Se contempló originalmente la realización de 2 **seminarios** anualmente (6 en total), sin embargo, se realizaron 11 actividades de este tipo, considerando los requerimientos de las diferentes OUA (Cuadro 5.2.4).

Cuadro 5.2.4. Resumen seminarios realizados para el proyecto SEPOR, período 2007-2009

Año	Fecha	Tema	Nº asistentes
2007	13 Julio	Fitomonitores en la Programación y Control del Riego. Presentación Proyecto SEPOR, Lugar: U. de Talca	68 personas
	04 Septiembre	Programación y Control del Riego, Lugar: CITRA U. de Talca	49 personas
2008	19 Marzo	Cambio climático y sus efectos en el riego. Seminario para Regantes Junta de Vigilancia Río Longaví – Parral	54 personas
	17 Abril	Efectos de la sequía en la agricultura. Dictado a productores de Pelarco. Pelarco.	10 personas
	18 Abril	Efectos de la sequía en la agricultura. Dictado a Regantes de la Asociación Canal Maule. Talca.	59 personas
	29Sept	Proyecto SEPOR: resultados primera temporada. 2ª Sección Río Cachapoal, Escuela Agrícola San Vicente de Paul - Doñihue	40 personas
	21Nov	Proyecto SEPOR: Antecedentes Generales, Resultados primera temporada Investigación y Servicio Programación del Riego. (2ª Sección Río Cachapoal, San Vicente de Tagua-Tagua)	13 personas
2009	27 Enero	Proyecto SEPOR, Lugar: Centro de Pomáceas U. de Talca	38 personas
	17 Marzo	Resultados Proyecto SEPOR, Lugar: Parral	7 personas
	30 Marzo	Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego para la región de Maule, Lugar: Talca	216 personas
	08 Julio	Proyecto SEPOR: Una Herramienta Tecnológica para optimizar el uso del agua de riego en la región de O'Higgins, Lugar: Rosario	70 personas

Respecto a los **días de campo**, no se cumplió con la totalidad de actividades planificadas, pues de un total de 18 actividades, solamente se alcanzaron a realizar 15 a la fecha de cierre del informe (Cuadro 5.2.5).

En cuanto a las **reuniones en módulos demostrativos**, cada vez que se realizaron cursos o días de campo se visitaron tanto las UAR como las UAV. Además se realizaron visitas adicionales en las salidas a terreno para asistencia en riego.

Cuadro 5.2.5. Resumen días de campo realizados para el proyecto SEPOR, período 2007-2009

Nº	Año	Fecha	Tema	Nº asistentes
	2007		Sin actividad	
1	2008	17 Marzo	Herramientas para la programación del riego en frambuesa y manzano	12 personas
2	2009	03 Junio	Uso de la bandeja de evaporación para programar el riego, Lugar: Quinta de Tilcoco	15 personas
3		03 Junio	Uso de técnicas simples para medir la humedad del suelo, Lugar: Quinta de Tilcoco	15 personas
4		06 Agosto	Operación y mantención de equipos de riego tecnificado: goteo, cinta y microaspersión, Lugar: Zúñiga	12 personas
5		27 Agosto	Operación y mantención de equipos de riego tecnificado: goteo, cinta y microaspersión, Lugar: Nancagua	11 personas
6		09 Septiembre	Medición de la humedad del suelo para programar el riego, Lugar: Doñihue	16 personas
7		10 Septiembre	Manejo de información climática proveniente de estaciones meteorológicas automáticas para la programación del riego, Lugar: Zúñiga	11 personas
8		15 Diciembre	Métodos para la programación del riego, San Clemente	11 personas
9		17 Diciembre	Estación Meteorológica Automática, operación y mantenimiento. Parral Grupo 1	14 personas
10		17 Diciembre	Programación de riego en frambueso. Parral Parral Grupo 1	14 personas
11		17 Diciembre	Estación Meteorológica Automática, operación y mantenimiento. Parral Grupo 2	11 personas
12		17 Diciembre	Programación de riego en frambueso. Parral Grupo 2	11 personas
13		17 Diciembre	Uso de la cámara de presión para la programación del riego en viñas viníferas. Molina	15 personas
14		28 Diciembre	Programación del riego. Retiro	6 personas
15		28 Diciembre	Estación Meteorológica Automática, operación y mantenimiento. Retiro	6 personas

En cuanto a la **Transferencia Escrita** comprometida se presenta en el Cuadro 5.2.6. Principalmente para el caso de cartillas y boletines, considerando la complejidad y diversidad de la enseñanza de la temática del riego y la agroclimatología, se solicitó el

apoyo de un psicólogo para la revisión del material preparado por los profesionales del Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. Ello permitió, estructurar documentos con lenguaje simplificado y directo, lo que contribuyó a una mejor recepción de la información por parte de los agricultores, profesionales y técnicos participantes del proyecto.

Cuadro 5.2.6. Resumen mecanismos de transferencia escrita propuestos para el proyecto SEPOR.

Mecanismos	Usuario	Nº Total por año
Boletines técnico-informativos	Profesionales, Técnicos y Encargados de campo	2
Cartillas técnicas de divulgación	Profesionales, Técnicos y Encargados de campo	6
Artículos en revistas	Estudiantes, Profesionales, Técnicos, Productores	3

En cuanto a los **boletines técnico-informativos**, durante el desarrollo del proyecto, se cumplió con el 100% de lo comprometido (Cuadro 5.2.7). Para el período se generó un total de 6 unidades con diferente temática. Un listado de ellos, se presenta a continuación (Anexo 4).

Cuadro 5.2.7. Resumen mecanismos de transferencia escrita propuestos para el proyecto SEPOR. Boletines Informativos

Aforo de aguas
Uso de la bandeja de evaporación para
Riego en olivos
Fertirriego
Evaluación de la uniformidad de riego en una instalación de riego por goteo
Coeficiente de cultivo

Para las **cartillas técnicas de divulgación**, durante el desarrollo del proyecto, se cumplió con el 100% de lo comprometido. Para el período se generó un total de 18 unidades con diferente temática. Un listado de ellos, se presenta a continuación en el Cuadro 5.2.8 (Anexo 4).

Cuadro 5.2.8. Resumen mecanismos de transferencia escrita propuestos para el proyecto SEPOR. Cartillas de divulgación.

¿Qué es el Proyecto SEPOR?
Programación del Riego
Estaciones Meteorológicas Automáticas
Uso del TDR para el monitoreo de la humedad del suelo
Evapotranspiración en condiciones de referencia
Infiltración del agua en el suelo
Plataforma Web de información agroclimática
Riego por cintas
Riego por surcos
Uso de mangas plásticas para riego
Aforo de aguas
Cómo elegir el sistema de riego adecuado
Programación del riego en viñas
Programación del riego en olivos
Sistema Advantage Pro de Addcon
Uso de cámara de presión para el monitoreo del estado hídrico de plantas
Fertirriego
Evaluación de la uniformidad de riego en una instalación de riego por goteo

En la propuesta original se contempló además que cada OUA contara con un **diario mural**. Al respecto, esto se concretó mediante el uso de un espacio donde cada una se informaba de las actividades del Proyecto SEPOR. Ello permitió a quienes concurrían a las organizaciones de regantes, imponerse de los objetivos del proyecto, información meteorológica y fechas de actividades de transferencia tales como seminarios y días de campo.

En relación a los **artículos para revistas** (Cuadro 5.2.9), se comprometieron 6 artículos a lo largo del proyecto, de los cuales se han preparado 11, los cuales se encuentran en proceso de publicación o publicados. Gracias a la gran cantidad de datos obtenidos en las UAR y UAV se han preparado varios artículos, algunos se han escritos en formato de artículo científico. De esta manera a la fecha de cierre, hay un artículo publicado en la revista Irrigation Science (revista científica ISI) relacionado con la toma de datos que surgió en la UAV de viñas en la Región del Maule. Adicionalmente, se produjeron otros artículos, los cuales han sido publicados en revistas de extensión y digitales.

Cuadro 5.2.9. Resumen publicaciones preparadas a partir del proyecto SEPOR, período 2007-2009

N°	Título	Año	Estado
1	La tendencia es a aplicar agua en exceso	2008	Publicado en revista Chile Riego Agosto 2008:46-49
2	SEPOR	2008	Publicado en Memoria Anual Junta de Vigilancia Río Longaví
3	Estimation of actual evapotranspiration for a drip-irrigated Merlot vineyard using a three-source model	2009	Publicado en Irrigation Science (2009) 28:65-78
4	SEPOR	2009	Publicado en Memoria Anual Junta de Vigilancia Río Longaví
5	Los agricultores usan mal la tecnología de riego	25/03/2009 09/12/2009	Publicado en: 1. Revista del Campo 2. Revista digital Nexchannel (www.nexchannel.cl)
6	Impacto del SEPOR en la eficiencia del uso del agua en vides vinífera.	2009	En preparación, revista por definir
7	Estrategias de riego en manzano usando el sistema SEPOR.	2009	En preparación, revista por definir
8	Estrategias de riego en tomate industrial usando el sistema SEPOR.	2009	En preparación, revista por definir
9	Estrategias de riego en arándano usando el sistema SEPOR.	2009	En preparación, revista por definir
10	Development of a Simple Model to Predict Different Processing Tomato Phenological Stages Based on Accumulated Growing Degree Days	2009	En preparación, revista por definir
11	Implementación del "Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR)"	2009	Enviado a revista Chile Riego

5.2.1. Actividades adicionales

Se realizaron actividades de difusión que se presentan a continuación en el Cuadro 5.2.10.

Cuadro 5.2.10. Resumen actividades de difusión del proyecto SEPOR, período 2007-2009

Año	Fecha	Tema	Nº asistentes
2007	Julio	Servicio de Programación y Optimización del Uso de Agua de Riego, SEPOR. Charla presentada en la Junta de Vigilancia del Río Limarí, Salamanca	30 personas
2008	06 Septiembre	Resultados Proyecto SEPOR. Charla, Lugar: Intervitis InterFruta, Talca	60 personas
2009	22 Enero	Resultados Proyecto SEPOR. Charla, Lugar: CITRA U. de Talca	37 personas
	16 Septiembre	Proyecto SEPOR: Una Herramienta Tecnológica para optimizar el uso del agua de riego en la región de O'Higgins. Charla, Lugar: INACAP, Rancagua	53 personas

Adicionalmente realizaron iniciativas buscando la obtención de aportes institucionales especializados complementarios para prestar la asistencia técnica de los pequeños y medianos productores (Cuadro 5.2.11). Mediante el establecimiento de convenios de trabajo en materias específicas y la postulación a los concursos para la captación de recursos institucionales adicionales, se crearon instancias de continuidad del servicio. A la fecha de cierre de este informe hay en elaboración un proyecto complementario o mini - SEPOR, con el Gobierno Regional y el Indap de la Región de O'Higgins. El objetivo es extender este servicio por una temporada más, incorporando una serie de charlas complementarias. Además se está a la espera de los resultados de un proyecto Innova – CORFO de interés público, para replicar el SEPOR en la zona de influencia del Canal Maule Sur. Este último está en las instancias finales y será financiado con fondos del Gobierno Regional de la Región del Maule.

Cuadro 5.2.11. Resumen actividades adicionales al proyecto SEPOR, período 2007-2009

Nombre iniciativa	Financiamiento	Estado	Año
Desarrollo de un sistema integral para la gestión hídrica en manzanos, viñas y olivos usando información agrometeorológica en combinación con imágenes satelitales multiespectrales	FONDEF	Postulado, no adjudicado.	2008
Mejoramiento de la competitividad de productores frutícolas de la Asociación Canal Maule Sur, a través de la implementación de un Sistema Integral para la Gestión Hídrica (SIGESH).	INNOVA CHILE Subdirección de Innovación de Interés Público e Innovación Precompetitiva	Postulado, en espera de resultados.	2009
Implementación de un programa de un transferencia técnica región de O'Higgins	Financiamiento INDAP región de O'Higgins	Postulado, en espera de resultados.	2009
Desarrollo de un sistema de gestión hídrica para la Región O'Higgins	FNDR región de O'Higgins	En preparación	2010

Finalmente, dentro de las actividades no consideradas en la propuesta inicial, se desarrollaron dos memorias de pregrado de agronomía para alumnos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca (Cuadro 5.2.12).

Cuadro 5.2.12. Resumen memorias de pregrado de agronomía, desarrolladas en base al proyecto SEPOR, período 2007-2009

Nombre Memoria de título	Autor	Año
Evaluación de cinco láminas de riego sobre el rendimiento de maíz semillero	Ing. Agr. Esteban Arenas	2009
Efecto del estrés hídrico controlado sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill., cv Heinz 9997)	Ing. Agr. Macarena Vargas	2009

5.2.2. Conclusiones

Se puede señalar que en cuanto a la transferencia oral como seminarios, cursos y talleres los resultados obtenidos superaron los planificados inicialmente. En el caso de los días de campo, solamente faltaron por hacer tres actividades.

Se potenció la forma de transferir las técnicas de riego, a través de la integración al equipo de trabajo de un psicólogo del Centro de Psicología Aplicada (CEPA) de la Universidad de Talca. De esta manera, se realizaron talleres para el equipo transferencista, permitiendo mejorar de manera importante, la forma de llegada a los productores y beneficiarios del proyecto.

En cuanto a la transferencia escrita, la preparación de artículos y la aceptación de un artículo científico en *Irrigation Science* (revista indexada ISI), revista importante en el quehacer científico relacionado con riego, representa un logro importante para el proyecto. Para las cartillas y boletines, hubo retrasos en la preparación y entrega.

Finalmente, se generaron actividades adicionales no consideradas en la propuesta original, como memorias de pregrado y proyectos, estos últimos buscando dar continuidad al SEPOR.

CAPÍTULO 6

6.1 Ensayos de Investigación Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR)

6.1.1 Ensayos de Investigación Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR) – Modelo de Penman-Monteith

6.1.1.1 Introducción

El suministro adecuado y oportuno del agua necesaria para el desarrollo y crecimiento de los cultivos es de primordial importancia en la agricultura. Se han desarrollado variadas metodologías para cuantificar la cantidad de agua que debe estar disponible para las plantas. Estas consideran la transferencia de agua hacia la atmósfera desde el suelo y las plantas, denominadas evaporación y transpiración, respectivamente. La relación entre estos procesos varían a lo largo del desarrollo de los cultivos, desde un 100% de evaporación al momento de siembra a 90% de transpiración en cultivos que cubren el suelo totalmente (Allen et al., 2006). La integración de ambos conceptos es la transferencia total de agua desde una superficie con cobertura vegetal hacia la atmósfera denominada evapotranspiración (Alados et al., 2003). El 64% del agua recibida a nivel de suelo por precipitación, es regresada a la atmósfera por la ET (Baumtgarner and Reichel, 1975).

ET puede determinarse a través de la medición de los componentes de transpiración (porómetros, medidores de flujo de savia) y evaporación (lisímetros)(Brooks et al., 2003; Reigosa Roger and Sánchez-Moreiras, 2001). Además, puede medirse en forma directa (Sistema de Bowen, Sistema de Flujos Turbulentos)(Baldocchi et al., 1988). Sin embargo existe dificultad práctica para cuantificar los procesos que componen la ET por separado. La medición directa de la ET es compleja y de alto costo, por lo que se encuentra limitada al desarrollo e investigación (Sumner and Jacobs, 2005).

Por lo anterior, existen modelos para determinar ET basados en variables ambientales medidas a nivel local, otros describen el sistema físico conformado por la relación suelo-planta-atmósfera. Sin embargo, de entre los diversos modelos para la determinación de la ET, ninguno puede ser universal y replicado en cualquier zona geográfica. Desde los métodos más sencillos en los que se usa la medición desde superficies evaporantes, hasta aquellos que se basan en la disponibilidad de energía; todos se ven afectados por las

características de variables de suelo, cultivo y atmósfera de cada localidad. Por otra parte, los requisitos de implementación en terreno, tanto teóricos como prácticos (ej. mantención y calibración de los instrumentos de medición), son fuente de variabilidad y error en el cálculo de ET (Llasat and Snyder, 1998). Es por esto que en el desarrollo de alternativas para la cuantificación de la ET, se introdujo el concepto de evapotranspiración de referencia (ET_o). El cual propone como criterio unificador suponer un cultivo hipotético de referencia, con unas condiciones aerodinámicas fijas (Allen et al., 1989). De este modo, se obtiene un valor de ET_o, que será comparable a cualquier otro estudio, en la medida que se cumplan los supuestos de esta. Por lo tanto, la ET_o es la ET de una superficie de pasto verde, bien regada de altura uniforme y que se encuentra creciendo activamente, sombreando completamente el suelo (Allen et al., 2006).

La ET de un cultivo (ET_c) difiere a la ET_o, en la medida que las características de cobertura de suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran a las del cultivo de referencia. El procedimiento más común para determinar ET_c es ajustar ET_o utilizando un coeficiente de cultivo (K_c) (Irmak et al., 2005). Este último, contiene los efectos de las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia (Allen et al., 2006).

$$ET_c = ET_o * K_c \text{ (Ecuación 1)}$$

donde: ET_c= evapotranspiración de cultivo (mm), ET_o= evapotranspiración de referencia (mm), K_c= coeficiente de cultivo o relación entre ET_c/ET_o (adimensional).

El modelo de estimación de ET_r Penman-Monteith FAO56 (PM FAO) se aplica en muchas partes del mundo y ha sido ampliamente aceptado (Allen et al., 2006; Kite and Droogers, 2000). Este modelo es recomendado por la FAO como el único método estándar para la definición y el cálculo de la ET_o (Allen et al., 2006). En este, se establece la ET_o como función de los parámetros climáticos, los que eventualmente, son obtenidos desde redes de estaciones meteorológicas. Por lo tanto proporciona un método probado para la determinación de las necesidades de agua de los cultivos para amplias zonas geográficas, en las que existan registros de las variables agroclimáticas.

Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo principal la evaluación del modelo PM FAO para estimar la ET_o.

6.1.1.2 Teoría

6.1.1.2.1 Modelo FAO PM Horaria

El modelo de Penman-Monteith sugerido por la FAO está definido por la Ecuación 1:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \left(\frac{37}{T_{hr} + 273} \right) u_2 (e_{T_{hr}}^o - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde: Rn = radiación neta en la superficie de referencia ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$), G = flujo de calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); Δ = pendiente de la curva de saturación de vapor en ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T_{hr} = Temperatura media del aire cada hora ($^\circ\text{C}$); u_2 = velocidad de viento a 2 m de altura (m s^{-1}); $e_{T_{hr}}^o$ = presión de saturación de vapor a T_{hr} (kPa); e_a = Promedio horario de la presión real de vapor (kPa).

Radiación neta

La Rn es la cantidad de energía superficial disponible para efectuar los procesos físicos y biológicos. Es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (Burns et al., 2003) y la radiación neta de onda larga (Rnl).

$$Rn = Rns - Rnl \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde: Rns = radiación neta de onda corta ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), Rnl = radiación neta de onda larga ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

A su vez, Rns se define como:

$$Rns = (1 - \alpha)Rs \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde: Rs = Radiación solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); α = albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, para un cultivo hipotético de referencia es 0,23 (adimensional).

Por otro lado, Rnl se calcula como:

$$R_{nl} = \sigma T_k^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde: R_{nl} = Radiación neta de onda larga ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); σ = Constante de Stefan-Boltzmann ($2,043 \cdot 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); T_k = Temperatura ($^{\circ}\text{K}$); e_a = Presión de vapor real (kPa); $\frac{R_s}{R_{so}}$ = Relación relativa de onda corta (valor ≤ 1); R_s = Radiación solar medida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); R_{so} = Radiación solar en un día despejado ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

La radiación solar en un día despejado (R_{so}) se estima por:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) \cdot R_a \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde: z = Elevación sobre el nivel del mar (m); R_a = Radiación extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

La radiación extraterrestre (R_a) es la cantidad de energía solar que llega al extremo superior de la atmósfera terrestre. Cuando esta incide en forma perpendicular se denomina Constante Solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$). Sin embargo la intensidad local de la radiación extraterrestre está determinada por el ángulo de incidencia de los rayos solares, la cual varía durante el día y a medida que transcurren las estaciones del año.

Para períodos horarios la radiación extraterrestre está determinada por (Ecuación 6):

$$R_a = \frac{12 \cdot 60}{\pi} G_{sc} d_r \left[(\omega_2 - \omega_1) \text{seno}(\varphi) \text{seno}(\delta) + \cos \text{eno}(\varphi) \cos \text{eno}(\delta) (\text{seno}(\omega_2) - \text{seno}(\omega_1)) \right] \quad (\text{Ecuación 7})$$

donde: R_a = Radiación extraterrestre por hora ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); G_{sc} = Constante solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); d_r = Distancia relativa inversa Tierra-Sol; δ = Declinación solar (rad); φ = Latitud (rad); ω_1 = Ángulo de la radiación al inicio del período (rad); ω_2 = Ángulo de la radiación al final del período (rad), que se calculan de la siguiente manera (Ecuaciones 7 y 8):

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi \cdot t_1}{24} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\omega_2 = \omega + \frac{\pi * t_1}{24} \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde: ω = Ángulo solar en el momento en que ocurre el punto medio del período considerado (rad); t_1 = Duración del período considerado (h)

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(t + 0,06667(L_z - L_m) + S_c) - 12] \quad (\text{Ecuación 10})$$

donde: t =Hora estándar en el punto medio del período considerado (h); L_z =Longitud del centro de la zona de tiempo local (grados oeste de Greenwich); L_m = Longitud de la zona de medición (grados oeste de Greenwich); S_c = corrección estacional para el tiempo solar (h); $S_c = 0,1645 \text{ seno}(2b) - 0,1255 \text{ coseno}(b) - 0,025 \text{ seno}(b)$, donde:

$$b = \frac{2\pi(J - 81)}{364}$$

Con J = Número de día del año

Flujo de calor de suelo

El flujo de calor de suelo para períodos horarios se puede aproximar en condiciones de luz por:

$$G = 0,1 R_n \quad (\text{Ecuación 11})$$

Y durante los períodos nocturnos:

$$G = 0,5 R_n \quad (\text{Ecuación 12})$$

Pendiente de la curva de saturación

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde: Δ = Pendiente de la curva de saturación de vapor a la temperatura del aire T (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$); T = Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)

Constante psicrométrica

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} \quad (\text{Ecuación 14})$$

donde: γ = Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); c_p = Calor específico a presión constante 1,013*10⁻³ (MJ kg⁻¹ °C⁻¹); P = Presión atmosférica (kPa); ε = Cociente entre el peso molecular de vapor de agua/aires seco = 0,622; λ = Calor latente de vaporización 2,45 (MJ kg⁻¹).

Presión de saturación de vapor

$$e^o(T) = 0,6108 * \exp \left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right] \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde: $e^o(T)$ Presión de saturación de vapor a temperatura T (kPa)

Presión real de vapor

$$e^a = e^o(T_{hr}) * \frac{HR_{hr}}{100} \quad (\text{Ecuación 16})$$

6.1.1.2.2 Descripción del Sistema de Flujos Turbulentos

La determinación de la ET mediante el Sistema de Flujos Turbulentos se basa en la evaluación de los elementos del balance de energía.

$$R_n - G = H + LE \quad (\text{Ecuación 17})$$

donde: R_n = radiación neta (MJ m⁻² h⁻¹); G = flujo de calor de suelo (MJ m⁻² h⁻¹); H = flujo de calor sensible (MJ m⁻² h⁻¹) y LE = flujo de calor latente (MJ m⁻² h⁻¹), el cual es la energía empleada en cambiar el agua de estado líquido a gaseoso.

El método de flujos turbulentos se basa en la medida directa de estos flujos y de las variaciones de la componente vertical del viento y la humedad, las cuales permiten estimar la transferencia vertical del vapor de agua de los cultivos. El vapor de agua, al igual que el calor, el CO₂ y otros compuestos atmosféricos son transportados en dirección vertical del

viento, por porciones de aire llamados torbellinos o remolinos (“eddy”). Estos remolinos son de distintos tamaños y generalmente crecen con la altura y aumentan su frecuencia. Sin embargo, los flujos de compuestos atmosféricos son asumidos como constantes. La mayor ventaja de este método es su exactitud para estimar el calor latente (LE) de los cultivos, presentando errores menores al 10% (Zapata and Martínez-Cob, 2001). Este método requiere de una delicada y compleja instrumentación, además de personal calificado para su uso y mantención.

Para determinar el flujo de calor de suelo (G), el sistema de flujos turbulentos cuenta con un set de platos de calor y termocuplas de suelo. La estimación de LE se realiza mediante un analizador infrarrojo de gases, capaz de medir el CO₂ y el vapor de agua. El calor sensible (H), se estima a través de un anemómetro sónico que mide la velocidad de viento ortogonal y la temperatura.

La exactitud de la medición de los flujos de energía puede ser analizada a través de la evaluación del cierre del balance de energía superficial (Ecuación 17) empleando mediciones independientes de los elementos del balance (Twine et al., 2000). El cierre será determinado en términos porcentuales como: (Brotzge and Crawford, 2003)

$$C(\%) = \frac{H+LE}{R_n-G} * 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde un 100% significa un cierre completo. Cuando C(%) es menor que 70% los valores de LE y H tienen escasa utilidad para la validación de modelos (Kustas et al., 1999).

6.1.1.3 Metodología

El estudio se llevó a cabo datos recolectados durante los años 2008 y 2009 en una unidad agroclimática de referencia (UAR) en el sector Panguilemo (Comuna de Talca, Región del Maule; 35° 37,0' Lat. S; 71° 59,5' Long. O, 124 m.s.n.m). Esta consistió en 1 ha de empastada en la cual se mantuvieron las condiciones de referencia durante los períodos en los que se efectuó el estudio.

El sector Panguilemo corresponde geográficamente a la zona del valle central; presenta una temperatura media anual de 14,37°C, máxima en el mes de Diciembre (34,24°C) y mínima el mes de Mayo (-1,50°C). La precipitación anual es de 661 mm y la velocidad de viento

media es de $3,92 \text{ km h}^{-1}$. El suelo tiene una densidad aparente de $1,5 \text{ gr cm}^{-3}$ con una humedad aprovechable del 14,12% (CC: 31,31%; PMP: 17,19%).

6.1.1.3.1 Medición de Datos Climáticos

Los datos climáticos necesarios para el cálculo del modelo PM FAO se obtuvieron de la EMA (Adcon Telemetry Inc. modelo A733GPRS/GSM, Austria) instalada en la UAR Panguilemo. Esta proporciona información de temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación y velocidad y dirección de viento cada 15 minutos.

Cuadro 6.1.1 Detalles EMA en Referencia

Variable	Modelo Sensor	Altura
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Vaisala Combo 730SU	1,5 m
Humedad Relativa (%)	Vaisala Combo 730SU	1,5 m
Radiación Solar (W m^{-2})	Kipp&Zonen A730	2,0 m
Velocidad de Viento (m s^{-1})	Young Wind Sentry 3101-5	2,0 m
Dirección de Viento ($^{\circ}\text{N}$)	Young Wind Sentry 3101-5	2,0 m
Precipitaciones (mm)	Young rain	2,5 m

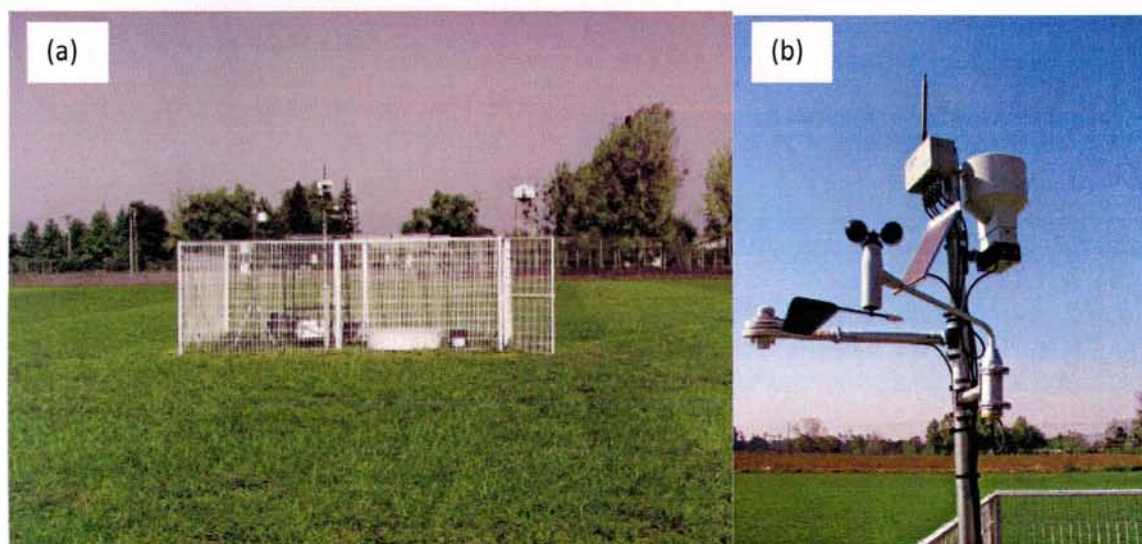


Figura 6.1.1 (a) EMA en UAR “Panguilemo”; (b) Detalle EMA en UAR Panguilemo

6.1.1.3.2 Medición de Componentes del Balance de Energía

Para la medición de los diferentes componentes del balance de energía en la UAR se instaló un Sistema de Flujos Turbulentos. Este equipamiento proporcionó mediciones continuas de flujos de H y LE. La información fue registrada a intervalos de 30 minutos en un datalogger (Campbell Scientific Inc., modelo CR5000, Estados Unidos). Además este equipo contó con un radiómetro neto para medir R_n y platos de calor de suelo para determinar G.

La altura de los sensores de viento (anemómetro sónico) y del analizador de gases fue de 1m sobre el nivel del suelo (Rana and Katerji, 1998). Esta altura se encuentra relacionada con el fetch, que es la distancia entre el punto de medición y el límite del área de estudio. De esta forma la altura de los instrumentos responde a una relación de un metro vertical por cada cien metros horizontales (Campbell and Norman, 1998). El anemómetro sónico se orientó en la dirección viento predominante (SSE). El radiómetro neto se instaló a una altura de 2m sobre el nivel del suelo y los sensores de suelo según la descripción presentada en la Figura 6.1.3.

Cuadro 6.1.2 Detalle Equipamiento Balance de Energía

Medición	Equipo	Marca y Modelo	Ubicación
Flujo de Calor Sensible (H) y Calor Latente (LE) ($W\ m^{-2}$)	Anemómetro Sónico	Campbell Scientific, CSAT3	1 m
	Analizador de Gases Infrarrojo	LI-Cor Li7500 Mod. CS7500-TM	1 m
Flujo de Calor de Suelo (G) ($W\ m^{-2}$)	Termocupla	Campbell Scientific, Averaging Soil TC Mod. CM210	-0,06 y -0,04 m
	Plato de Calor de Suelo	REBS Soil Mod. HFT3-L20	-0,08 m
Radiación Neta (R_n) ($W\ m^{-2}$)	Radiómetro Neto	REBS Net Radiometer Mod. Q 7.1-L20	2 m

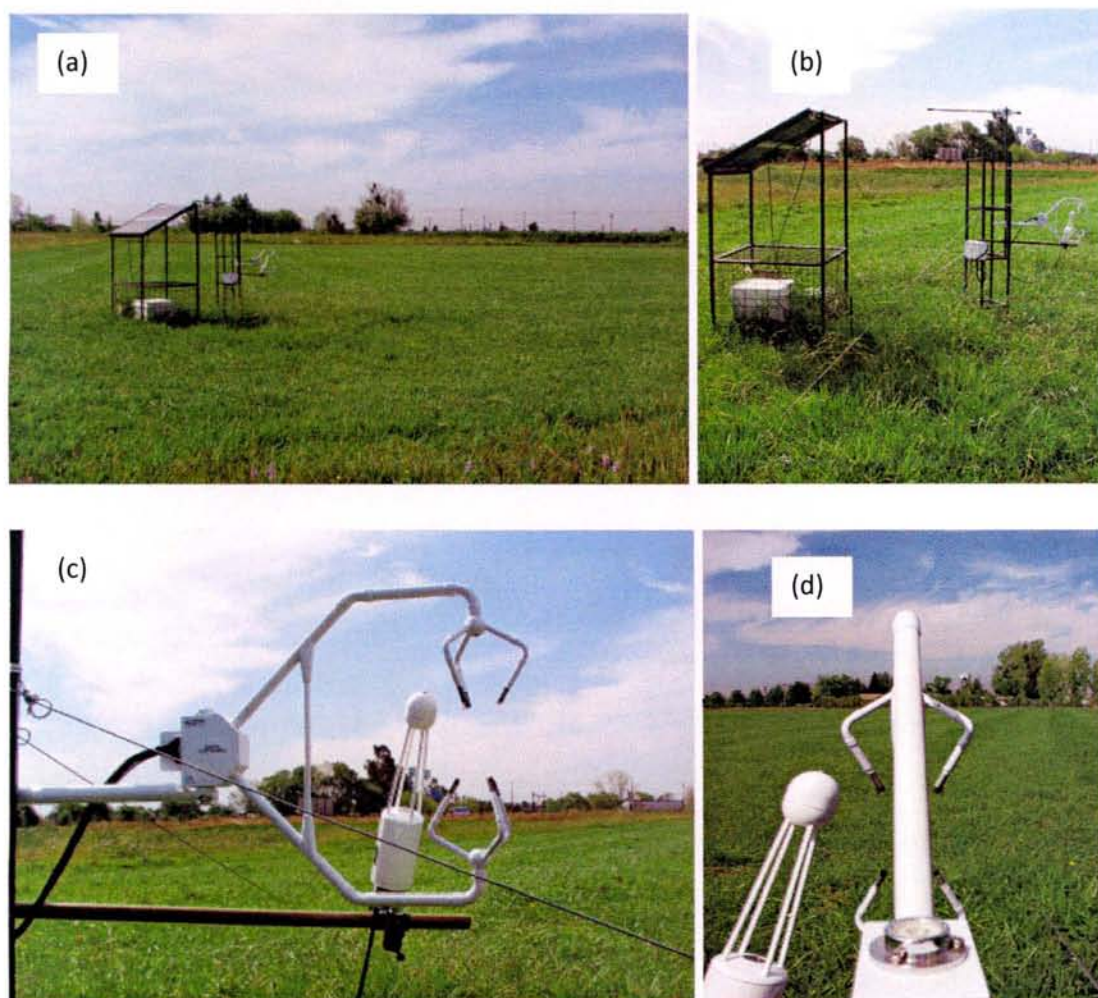


Figura 6.1.2 (a) UAR “Panguilemo” **(b)** Sistema de Flujos Turbulentos en UAR “Panguilemo” **(c)** Detalle Anemómetro Sónico y Analizador de Gases Infrarrojo **(d)** Detalle orientación anemómetro sónico

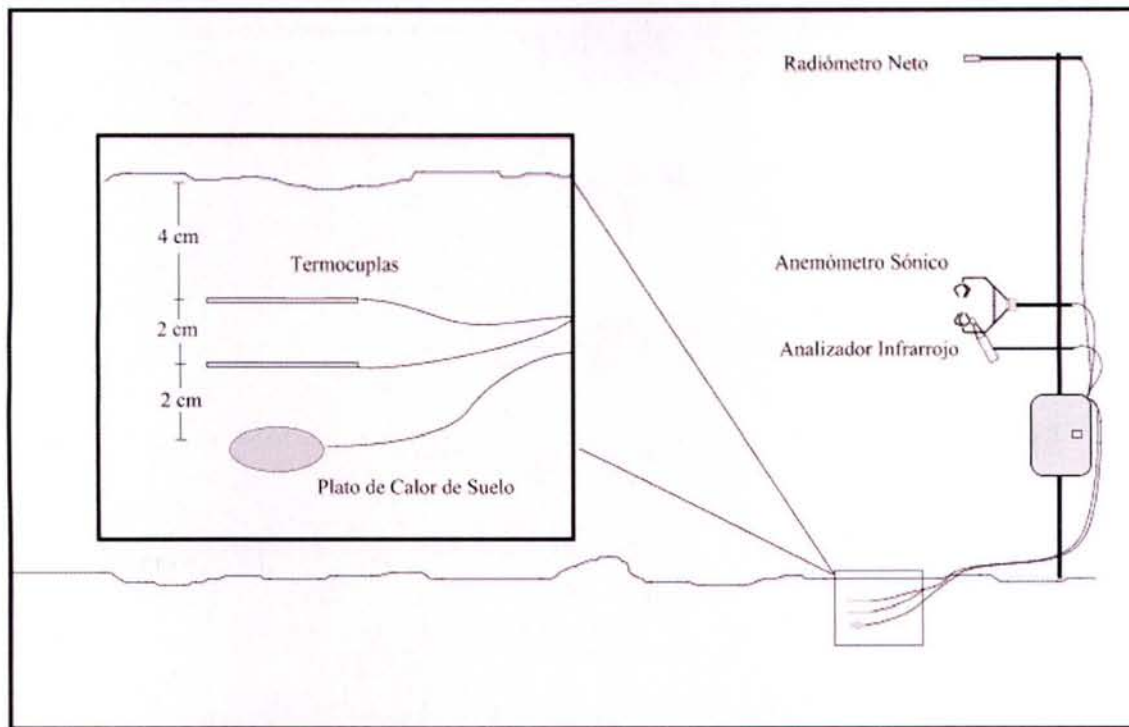


Figura 6.1.3 Esquema de configuración de sensores del Sistema de Flujos Turbulentos (EC).

6.1.1.3.3 Análisis

Para evaluar el comportamiento del modelo de evapotranspiración FAO PM (ecuación 2), los valores de E_T estimadas (ET_{FAO}) se compararon con los flujos de LE medidos (ET_{ec}).

La comparación incluyó como parámetros estadísticos el error absoluto medio (MAE), cuadrado del error medio (RMSE), Sesgo (BIAS) y como estadístico adimensional se incorporó el Índice de Concordancia (IA) (Mayer and Butler, 1993). Adicionalmente, el test Z fue incluido para evaluar si el cociente b fue estadísticamente diferente a uno, con un intervalo de confianza de un 95%.

6.1.1.4 Resultados y Discusión

Se analizaron los datos comprendidos entre el 09 de febrero y el 30 de marzo de 2008 (1 día nublado) 2008 09-02 al 19 del 02 del 2008, 28 del 02 al 30 de mar 2008 (2 nublados). Para el año 2009, el período considerado fue desde el 01 de febrero al 31 de marzo (sin días nublados).

El análisis previo de cierre del balance de energía superficial se realiza para verificar la exactitud de los datos de LE medidos. Se puede observar que en los datos del cierre (Figura 6.1.4a) la nube de puntos presenta una dispersión regular alrededor de la línea 1:1, mostrando que el factor $H + LE$ alcanza valores menores a los esperados, situación que se mantiene para todos los niveles de radiación y se repite en la segunda temporada de medición (Figura 6.1.4b). Sin embargo, el gráfico de la relación del cierre ($C(\%)$, Ecuación 18) muestra que se mantuvo entre 70% a 90 % (Figura 6.1.6). El promedio de $C(\%)$ fue 81% para el año 2008 y 82% en el 2009. Este valor se encuentra dentro del rango registrado en la literatura de 74% (Sumner and Jacobs, 2005; Twine et al., 2000) y 70% a 90% (Twine et al., 2000). El análisis de regresión muestra que existió un buen grado de asociación entre los elementos del balance de energía ($r^2=0,97$), observándose tendencias similares en ambas temporadas (Cuadro 6.1.3). Esta corresponde a un desbalance en la relación, de una magnitud del 3 al 6%. Sin embargo este error está dentro de las ediciones convencionales de un Sistema de Flujos Turbulentos y los datos pueden ser utilizados como medida de referencia en la comparación con el modelo PM FAO.

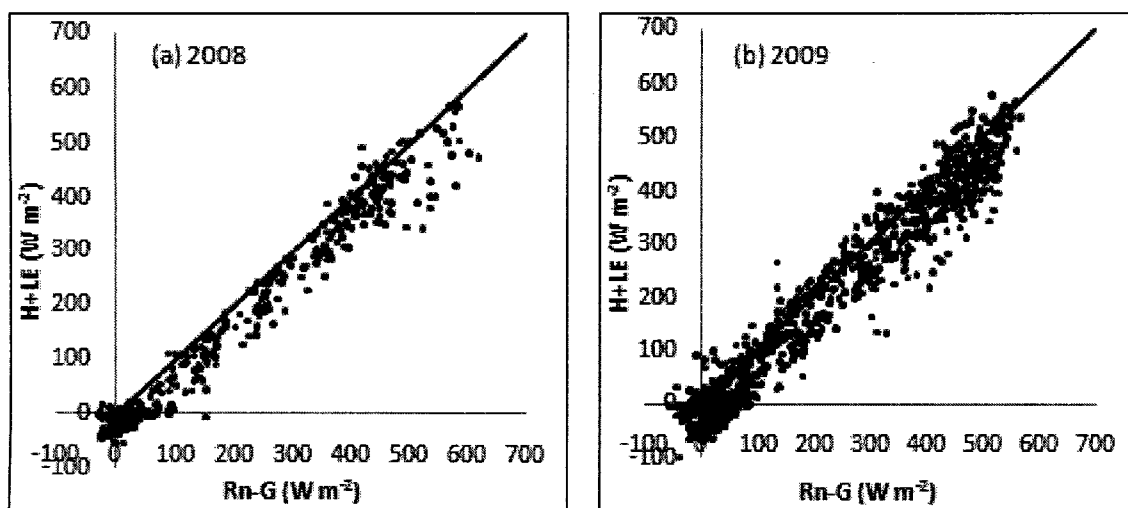


Figura 6.1.4 Balance de Energía Sistema de Flujos Turbulentos para los años (a) 2008 y (b) 2009.

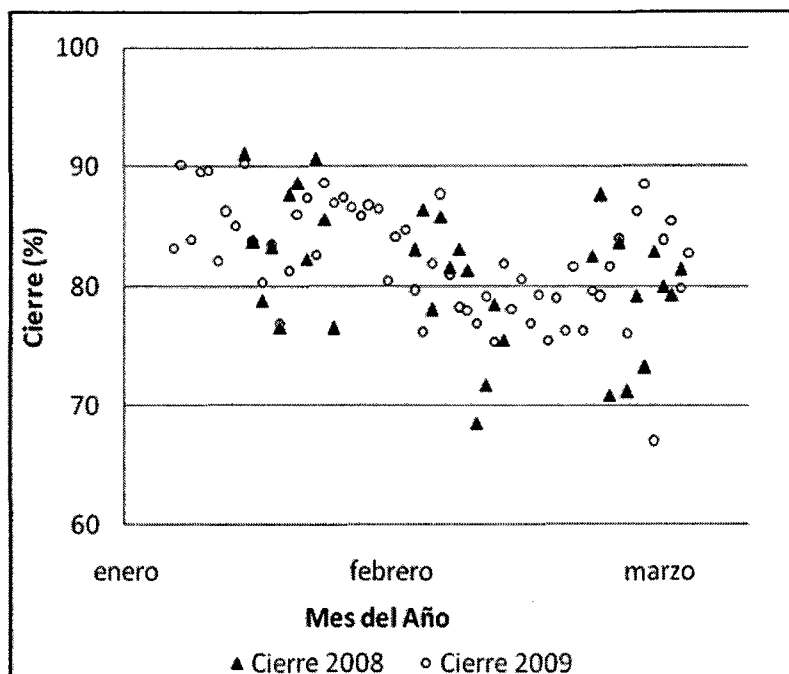


Figura 6.1.5 Cierre (%) del balance de energía superficial en función del día del año

Cuadro 6.1.3. Análisis estadístico cierre del balance de energía

	Panguilemo		
	2008	2009	Media
n	789	1414	
r^2	0,97	0,96	0,97
DEE	28,01	34,81	31,40
Test Z	F	F	
a	-18,69	-22,21	-20,45
b	0,94	0,97	0,96

El análisis de la ETo horaria muestra que existió un buen grado de asociación entre los valores medidos (ET_{EC}) y estimados (ET_{FAO}) ($r^2=0,94$). Sin embargo la dispersión de datos muestra una tendencia a sobrestimar los valores de ET_{EC} , situación que se hace más evidente por sobre los 3,5 mm h⁻¹ durante el año 2008 (Figura 6.1.4a). Los resultados del test-Z muestran que en ambas temporadas la pendiente fue significativamente distinta de uno, sugiriendo que el modelo propuesto tendió a subestimar los valores de ET_{EC} , con errores que variaron entre 5 y 7% (Cuadro 6.1.4).

Los indicadores de desviación entre los valores observados y estimados muestran para el modelo de Rn FAO valores de RMSE y un MAE iguales a 0,20 y 0,04 mm h⁻¹ para el año 2008 y de 0,22 y 0,03 mm h⁻¹ para el año 2009, respectivamente. Los valores de error diario son de RMSE y un MAE iguales a 1,10 y 1,21 mm d⁻¹ para el año 2008 y de 0,84 y 0,7 mm d⁻¹ para el año 2009. Los valores publicados en la literatura son de un RSME de 0,5 mm d⁻¹ (Berengena and Gavilan, 2005), a 0,7 mm d⁻¹ (Wright et al., 2000) y 0,8 mm d⁻¹ (Hargreaves and Allen, 2003).

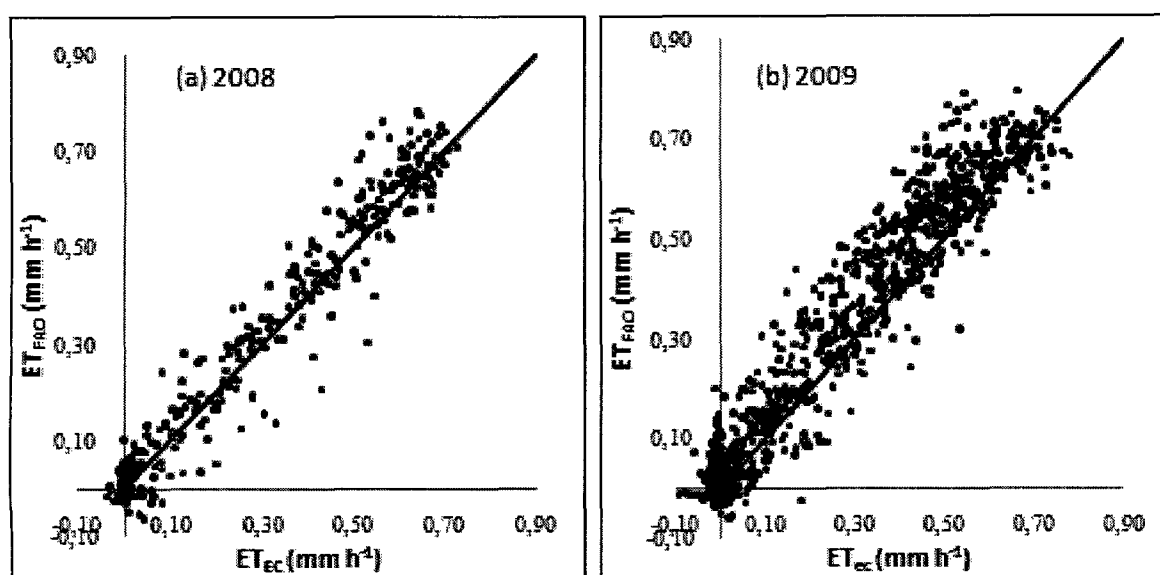


Figura 6.1.6 Correlación ETo estimada por el modelo FAO PM (ET_{FAO}) y medida por el

Cuadro 6.1.4 Análisis Estadístico Modelo FAO PM (Horario)

	Panguilemo		
	2008	2009	Media
n	789	1414	
r²	0,94	0,94	0,94
DEE	0,06	0,06	0,06
Test Z	F	F	
a	0,007	0,017	0,012
b	1,053	1,071	1,062
RMSE (mm h⁻¹)	0,20	0,22	0,21
MAE (mm h⁻¹)	0,04	0,05	0,045
BIAS (mm h⁻¹)	0,02	0,03	0,025
IA	0,99	0,99	0,99

6.1.5 Conclusiones

El modelo de PM FAO muestra un buen comportamiento para estimar la ETo en las condiciones medidas, pues los niveles de error obtenidos son similares a otros publicados en la literatura. Además, se encontraron resultados consistentes en ambos períodos de medición, confirmando la validez de la metodología empleada.

Los resultados proporcionan la evidencia necesaria para establecer que el modelo PM FAO es efectivo en la determinación de la ETo horaria. La metodología de cálculo de la ET_{FAO} presentada en este estudio, mostró una estimación de la ETo con un error máximo de 6% lo que corrobora lo presentado en estudios realizados previamente y permite su uso en la programación de riego.

6.1.5. Bibliografía

- Alados, I., I. Foyo-Moreno, F.J. Olmo, and L. Alados-Arboledas. 2003. Relationship between net radiation and solar radiation for semi-arid shrub-land. *Agricultural and Forest Meteorology* 116:221-227.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio de Riego y Drenaje* 56.
- Allen, R.G., M.E. Jensen, J.L. Wright, and R.D. Burman. 1989. Operational Estimates of Reference Evapotranspiration. *Agron J* 81:650-662.
- Baldocchi, D.D., B.B. Hincks, and T.P. Meyers. 1988. Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases with Micrometeorological Methods. *Ecology* 69:1331-1340.
- Baumtgartner, A., and E. Reichel. 1975. *The World Water Balance*. R. Oldenbourg-Verlag, München, Wien:1-179.
- Berengena, J., and P. Gavilan. 2005. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131:147-163.
- Brooks, K., P. Ffolliott, H. Gregersen, and L. DeBano. 2003. *Hydrology Processes and Land Uses*, p. 558 *Hydrology and the Management of Watersheds*, 3rd Edition ed. Iowa State Press.
- Brotzge, J.A., and K.C. Crawford. 2003. Examination of the Surface Energy Budget: A Comparison of Eddy Correlation and Bowen Ratio Measurement Systems. *Journal of Hydrometeorology* 4:160-178.
- Burns, S.P., J. Sun, A.C. Delany, S.R. Semmer, S.P. Oncley, and T.W. Horst. 2003. A field intercomparison technique to improve the relative accuracy of longwave radiation measurements and an evaluation of CASES-99 pyrgeometer data quality. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20:348-361.
- Campbell, G.S., and J.M. Norman. 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*. 2nd ed. Mich.:Edwards Brothers.

- Hargreaves, G.H., and R.G. Allen. 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129:53-63.
- Irmak, S., T.A. Howell, R.G. Allen, J.O. Payero, and D.L. Martin. 2005. Standardized asce penman-monteith : Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. *Transactions of the ASAE* vol. 48:15.
- Kite, G., and P. Droogers. 2000. Comparing Estimates of Actual Evapotranspiration from Satellites, Hydrological Models, and Field Data. A Case Study from Western Turkey. International Water Management Institute.
- Kustas, W.P., J.H. Prueger, K.S. Humes, and P.J. Starks. 1999. Estimation of Surface Heat Fluxes at Field Scale Using Surface Layer Versus Mixed-Layer, Atmospheric Variables with Radiometric Temperature Observations. *Journal of Applied Meteorology* 38:224-238.
- Llasat, M.C., and R.L. Snyder. 1998. Data error effects on net radiation and evapotranspiration estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 91:209-221.
- Mayer, D.G., and D.G. Butler. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling* 68:21-32.
- Rana, G., and N. Katerji. 1998. A Measurement Based Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Actual Evapotranspiration Model for Crops of Different Height and in Contrasting Water Status. *Theoretical and Applied Climatology* 60:141-149.
- Reigosa Roger, M.J., and A.M. Sánchez-Moreiras. 2001. Determination of Transpiration Using A Steady-State Porometer, p. 223-233 *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*.
- Sumner, D.M., and J.M. Jacobs. 2005. Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 308:81-104.
- Twine, T.E., W.P. Kustas, J.M. Norman, D.R. Cook, P.R. Houser, T.P. Meyers, J.H. Prueger, P.J. Starks, and M.L. Wesely. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 103:279-300.
- Wright, J.L., R.G. Allen, and T.A. Howell. 2000. Comparison between evapotranspiration references and methods. *Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Sym. ASAE, Phoenix*:251-259.
- Zapata, N., and A. Martínez-Cob. 2001. Estimation of sensible and latent heat flux from natural sparse vegetation surfaces using surface renewal. *Journal of Hydrology* 254:215-228.

6.1.2 Ensayos de Investigación Unidades Agroclimáticas de Referencia (UAR) – Modelo de Radiación Neta

6.1.2.1 Introducción

La determinación del consumo de agua de los cultivos es un elemento de crucial importancia para la producción agrícola. Entre las actividades que se pueden optimizar conociendo esta variable se encuentran, la programación del riego y la planificación de nuevas explotaciones. Por lo tanto al conocer las necesidades hídricas de los cultivos, se podrá determinar la cantidad de agua que necesita ser proporcionada en forma de riego, la cual puede estimarse mediante la cuantificación de la evapotranspiración (ET) (Allen et al., 1998) y que considera las pérdidas producidas simultáneamente por la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas.

Al respecto, existen métodos para hacer mediciones directas de la ET como los lisímetros, o bien su estimación en base a las mediciones del balance de energía superficial (Ecuación 1) mediante sistemas de flujos turbulentos y de bowen ratio. En estos últimos, el valor de flujo de calor latente (LE) es utilizado para obtener la ET. A pesar de ser métodos confiables, tanto los lisímetros como los métodos basados en el balance de energía son complejos, de alto costo y requieren de personal altamente calificado para su implementación y utilización, por lo que su aplicación se orienta principalmente a la investigación o bien como base para ajustar otros métodos más simples.

$$R_n - G = H + LE \quad \text{(Ecuación 1)}$$

donde: R_n es la radiación neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); G es el flujo de calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); H es el flujo de calor sensible ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$) y LE es el flujo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

Dentro de los métodos indirectos el propuesto por FAO-56 (Allen et al., 1998) es el más ampliamente usado en la programación del riego. En este, la ET real del cultivo (ET_a) es cuantificada en función de la ET de referencia (ET_o) y un coeficiente de cultivo (K_c) ajustado a la fenología de cada cultivo. Para aplicar esta metodología, la FAO recomienda el modelo de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) como único medio para obtener la ET de una superficie de pasto hipotética o cultivo en condiciones de referencia (ET_o). Este cultivo cubre el suelo por completo y se encuentra en óptimas condiciones de riego y manejo

agronómico. De acuerdo a la FAO el concepto de ETo permite estimar la demanda de agua de la atmósfera, independiente del tipo y desarrollo del cultivo, así como también del manejo agronómico, donde los únicos factores que le afectan son los parámetros climáticos. De esta manera los requisitos de implementación de equipamiento en terreno para la toma de datos, consideran estándares tanto teóricos como prácticos (ej. mantención y calibración de los instrumentos de medición) y son la única fuente de variabilidad y error en el cálculo de ET (Llasat and Snyder, 1998) (Allen et al., 1998).

De los componentes del balance de energía, el flujo de radiación neta (R_n) es el más importante pues provee la fuerza motriz para el funcionamiento de los procesos de intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera circundante (Evet, 2002; Irmak et al., 2003). En la actualidad, existen sensores que permiten la medición directa de R_n , sin embargo su uso no es masivo, ya que su instalación y operación debe ser supervisada por personal calificado y requieren calibraciones frecuentes (Brotzge and Duchon, 2000; Cobos and Baker, 2003). Debido a esto, se han desarrollado modelos que relacionan R_n a la radiación solar y la temperatura, con sólida una base teórica físico-matemática y cuyas estimaciones deben ser analizadas a través de un proceso de evaluación y calibración (Kjaersgaard et al., 2009). Lo anterior es necesario pues se han detectado sobreestimaciones aproximadas a un 27%, cuando no se emplean coeficientes calibrados (Yin et al., 2008).

En Chile, a partir del año 2007 la Comisión Nacional de Riego (CNR) se encuentra apoyando al proyecto SEPOR, que busca implementar una red de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) para establecer la ETo en diversas localidades de la zona central del país, distribuidas entre la región de O'Higgins y del Maule. De esta manera se busca apoyar a los productores asociados en la toma de decisiones de programación del riego, haciendo estimaciones efectivas de los diferentes componentes de la ETo.

Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo principal la evaluación del submodelo FAO-56 para estimar la R_n en condiciones de referencia.

6.1.2.2 Teoría

La R_n es la cantidad de energía superficial disponible para efectuar los procesos físicos y biológicos. La R_n corresponde a la energía resultante del balance de radiación neta de onda corta (Burns et al.) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}) (Ecuación 2).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde: R_{ns} = radiación neta de onda corta ($\text{MJ m}^{-2}\text{h}^{-1}$); R_{nl} = radiación neta de onda larga ($\text{MJ m}^{-2}\text{h}^{-1}$).

A su vez, R_{ns} se define como:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde: R_s = Radiación solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); α = albedo o coeficiente de reflexión (adimensional).

La R_{ns} o balance neto de radiación de onda corta, se registra entre las longitudes de onda 0,1 a 4 μm del espectro de radiación electromagnética proveniente del Sol (Brutsaert, 1991). La radiación solar incidente se mide a nivel superficial y está altamente influenciada por la cobertura de nubes, donde las moléculas que componen la atmósfera, absorben y dispersan la radiación solar extraterrestre o constante solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$). De esta manera, la R_s es inferior a la constante solar en aproximadamente un 25% (Monteith and Unsworth, 2008).

Por otra parte, el albedo (α) es la relación entre la radiación solar incidente (R_{si}) y reflejada (R_{sr}). Los valores que toma son variables y depende del tipo de superficie y el ángulo de incidencia de la radiación. En el caso de las condiciones de referencia, se ha establecido que varía entre 0,23 y 0,25 (Allen et al., 1998).

El balance neto de la radiación de onda larga (R_{nl}), se registra entre los 4 y 100 μm del espectro de radiación electromagnética proveniente del Sol (Brutsaert, 1991) y corresponde

a la radiación emitida según la ley de Stefan-Boltzmann (Monteith and Unsworth, 2008). De esta manera, para el modelo Rn FAO, la Rnl se calcula como:

$$Rnl = \sigma T_k^4 (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde: Rnl = Radiación neta de onda larga ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); σ = Constante de Stefan-Boltzmann ($2,043 \cdot 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$); T_k = Temperatura ($^{\circ}\text{K}$); e_a = Presión de vapor real (kPa); R_s/R_{so} = Relación relativa de onda corta (valor ≤ 1); R_s = Radiación solar medida ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$); R_{so} = Radiación solar en un día despejado ($\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$).

6.1.2.3 Metodología

6.1.2.3.1 Aspectos generales

El estudio se llevó a cabo con datos meteorológicos recolectados durante los años 2008 y 2009 en unidades agroclimáticas de referencia (UARs). Cada una de estas unidades consistió en 0,5 ha de empastada donde se instaló una EMA (Adcon Telemetry Inc. modelo A733GPRS/GSM, Austria). Las EMAs se mantuvieron en condiciones de referencia durante los períodos en los que se efectuó el estudio. Para la medición directa de Rn se emplearon 4 radiómetros netos móviles (Rebs modelo Q 7.1, Estados Unidos), cuyos datos se almacenaron en 4 datalogger (Campbell Scientific Inc. Modelo CR5000, Estados Unidos), en intervalos de 30 minutos (Cuadro 6.1.5). Estos dispositivos móviles se fueron rotando entre las UAR a lo largo de la temporada de riego para cada una de las UAR, sin embargo, los análisis se realizaron en las localidades donde las bases de datos fueron consistentes y presentaron registros continuos para los períodos señalados.

Los sectores seleccionados para la evaluación del modelo de Rn fueron:

- 1.- Sector “Los Bronces” comuna de Coltauco, Región de O’Higgins. ($34^{\circ} 21,2'$ Lat. S; $70^{\circ} 99,8'$ Long. O, 318 m.s.n.m). Agroclimáticamente corresponde a cordillera de la costa. Presenta una temperatura media anual de $14,68^{\circ}\text{C}$, máxima se presenta en el mes de Diciembre ($34,16^{\circ}\text{C}$) y la mínima el mes de Mayo ($-1,29^{\circ}\text{C}$). La precipitación anual es de 470 mm. La velocidad de viento media es de $1,56 \text{ km h}^{-1}$, considerándose una zona

con mala ventilación. Los sensores se ubicaron en un predio particular donde la cobertura de pasto se compone principalmente de gramíneas (Figura 6.1.7a).

- 2.- Sector “Panguilemo” comuna de Talca, Región del Maule (35° 37,0’ Lat. S; 71° 59,5’ Long. O, 124 m.s.n.m). Geográficamente corresponde a la zona del valle central. Presenta una temperatura media anual de 14,37°C, máxima se presenta en el mes de Diciembre (34,24°C) y la mínima el mes de Mayo (-1,50°C). La precipitación anual es de 661 mm. La velocidad de viento media es de 3,92 km h⁻¹. Los sensores fueron ubicados en la Estación Experimental “Panguilemo”, en la cual se cuenta con una superficie de gramíneas, la cual es mantenida en óptimas condiciones de riego y cortada con una frecuencia mensual (Figura 6.1.7b).
- 3.- Sector “La Calor” comuna de San Clemente, Región del Maule (35° 52,8’ Lat. S; 71° 29,4’ Long. O, 352 m.s.n.m) Geográficamente corresponde a la zona de precordillera. Presenta una temperatura media anual de 12,87°C, máxima se presenta en el mes de Enero (32,67°C) y la mínima el mes de Mayo (-2,77°C). La precipitación anual es de 731,4 mm. La velocidad de viento media es de 3,27 km h⁻¹. Los sensores se ubicaron en un predio particular donde la cobertura de pasto corresponde a una pradera natural (Figura 6.1.7c).
- 4.- Sector “Quillaimo” Comuna de Parral, Región del Maule (36° 18,3’ Lat. S; 71° 60,4’ Long. O, 297 m.s.n.m). Geográficamente corresponde a la zona del valle central. Presenta una temperatura media anual de 12,47°C, máxima se presenta en el mes de Enero (32,62°C) y la mínima el mes de Mayo (-5,56°C). La precipitación anual es de 1193,4 mm. La velocidad de viento media es de 4,00 km h⁻¹. Los sensores se ubicaron en un predio particular donde la cobertura de pasto corresponde a una pradera de gramíneas (Figura 6.1.7d).

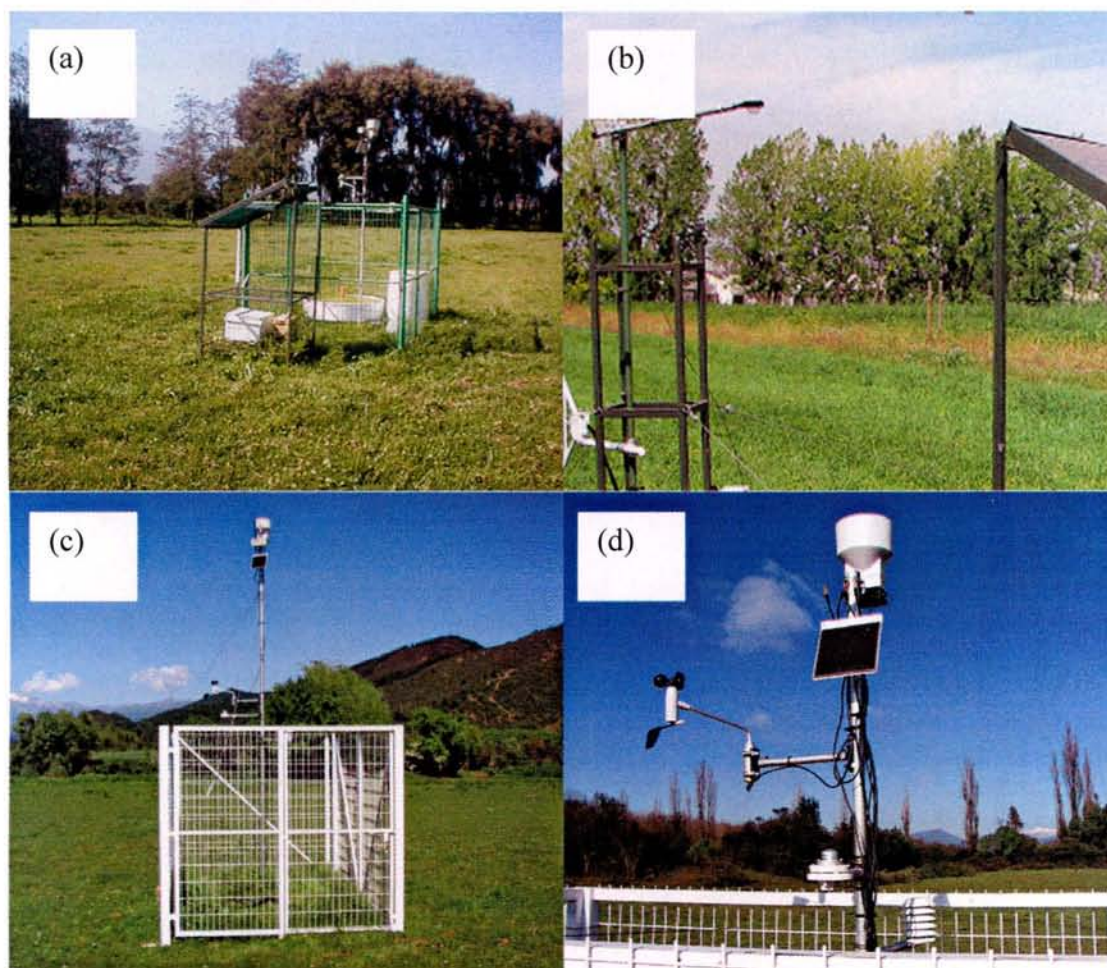


Figura 6.1.7 Estaciones meteorológicas automáticas y de radiación neta en condiciones de referencia para (a) Los Bronces (región de O'Higgins); (b) Panguilemo; (c) La Calor y (d) Quillaimo (región del Maule).

Cuadro 6.1.5 Detalles EMAs en referencia

Variable	Modelo Sensor	Altura
Temperatura (°C)	Vaisala Combo 730SU	1,5 m
Humedad Relativa (%)	Vaisala Combo 730SU	1,5 m
Radiación Solar ($W m^{-2}$)	Kipp&Zonen A730	2,0 m
Velocidad de Viento ($m s^{-1}$)	Young Wind Sentry	2,0 m
Dirección de Viento (°N)	Young Wind Sentry	2,0 m
Precipitaciones (mm)	Young rain	2,5 m

6.1.2.3.2 Análisis

Para evaluar el comportamiento del modelo (ecuación 2), los flujos de radiación neta estimados (Baumtgarnier and Reichel) se compararon con los flujos de radiación neta observados (R_{no}). La comparación incluyó como parámetros estadísticos el error absoluto medio (MAE), cuadrado del error medio (RMSE), Sesgo (BIAS) y como estadístico adimensional se incorporó el Índice de Concordancia (IA) (Mayer and Butler, 1993). Adicionalmente, el test Z fue incluido para evaluar si el cociente b fue estadísticamente diferente a uno, con un intervalo de confianza de un 95% (Ortega-Farias et al., 2000).

6.1.2.4. Resultados

6.1.2.4.1 Región de O'Higgins, Comuna Coltauco, Sector Los Bronces

Durante el período comprendido entre el 5 de Marzo y 9 de Abril de 2008, se obtuvo un conjunto de 36 días de datos (3 nublados). Para el año 2009, el período considerado fue desde el 20 de Febrero al 11 de Marzo, obteniéndose 18 días de datos (3 nublados).

Se puede observar que para los datos horarios (Figura 6.1.8a) la nube de puntos presenta una dispersión regular alrededor de la línea 1:1, mostrando una subestimación de la R_n (4%-10%) y que se hace más evidente a partir de los 250 W m^{-2} . Al respecto, el análisis estadístico muestra que existió un buen grado de asociación entre los valores de R_n observados y estimados ($r^2=0,99$), observándose tendencias similares para ambas temporadas (Cuadro 6.1.6). Los indicadores de desviación, entre los valores observados y estimados muestran para el modelo de R_n FAO, valores de RMSE y un MAE iguales a 24,04 y 17,57 W m^{-2} para el año 2008 y de 33,95 y 28,12 W m^{-2} para el año 2009, respectivamente. Los resultados del test-Z muestran que en ambas temporadas la pendiente fue significativamente distinta de uno, sugiriendo que el modelo propuesto (ecuación 2) tendió a subestimar los valores de R_{no} , con errores que variaron entre 4 y 10%.

El análisis de R_n diaria (Cuadro 6.1.7) muestra ajustes de regresión similares en ambas temporadas, tendiente a la subestimación (15% en 2008 y 11% 2009). Tanto la dispersión observada (Figura 6.1.9) como el nivel de error, se muestran bajos ($DEE= 0,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Esto significa que el modelo explica adecuadamente el comportamiento de R_n en días con distintos niveles de irradiación.

6.1.2.4.2 Región del Maule, Comuna Talca, Sector Panguilemo

En este sector se analizaron datos comprendidos entre el 9 de Febrero y 3 de Abril de 2008 (55 días de datos, 1 nublado). Para el año 2009, el período considerado fue desde el 31 de Enero al 16 de Abril, registrándose 76 días despejados.

La Figura 6.1.8b, muestra que existió un buen grado de asociación entre los valores de R_n observados y estimados para ambas temporadas ($r^2=0,99$). Además, se observa un bajo nivel de dispersión alrededor de la línea 1:1. En este caso el análisis estadístico presentado en el Cuadro 6.1.6 muestra que el modelo de la R_n FAO estimó R_n con un RMSE y un MAE igual a 27,51 y 20,51 $W\ m^{-2}$ el año 2008 y $RMSE= 33,34\ W\ m^{-2}$, $MAE= 29,98\ W\ m^{-2}$, respectivamente. El análisis de pendiente muestra que para el año 2008 el modelo subestima los valores de R_n con un error de 1%. En el caso de los registros del año 2009, se observa que el modelo sobrestima los valores de R_n en un 5%.

Para el período diurno el modelo se ajusta al comportamiento esperado, prediciendo R_n adecuadamente. Sin embargo, durante 2009 se observa una tendencia a subestimar R_n en los niveles más bajos de esta, lo que se ve reflejado en el mayor valor del sesgo (-20,41 $W\ m^{-2}$).

El análisis de R_n diaria (Cuadro 6.1.7) muestra ajustes de regresión que muestran tendencias distintas. En la temporada 2008 se presenta subestimación de 9% y en 2009 se sobrestima en 12%. En este sector se observa mayor grado de dispersión (Figura 6.1.9), así como mayor nivel de error ($DEE= 1,10\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ en 2008 y $0,96\ MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ en 2009). A pesar de presentar un buen ajuste en el período diurno, la subestimación en el período nocturno (Grafico 4.1b) resulta en un comportamiento deficiente en el análisis diario.

6.1.2.4.3 Región del Maule, Comuna San Clemente, Sector La Calor

Para el año 2008 se analizaron 45 días, de los cuales 3 fueron nublados (22 de Febrero al 6 de Abril). El año 2009, el período considerado fue desde el 12 de Marzo al 24 de Abril, resultando en 43 días de datos (2 días nublados).

La Figura 6.1.8c, muestra que existió un alto grado de asociación entre los valores de R_n observados y estimados ($r^2=0,96$ el 2008 y $r^2=0,95$ el 2009). En el año 2008, la nube de

puntos presenta un alto grado de dispersión, que se distribuye en forma homogénea alrededor de la línea 1:1. En este caso, el análisis estadístico presentado en el Cuadro 6.1.6 indica que el modelo de la Rn FAO estimó Rn con un RMSE y un MAE igual a 44,44 y 30,36 W m⁻². El año 2009 el modelo muestra una clara tendencia a la subestimación a partir de los 250-300 W m⁻² (bias=-37,61 W m⁻²). Tanto RMSE y MAE (70,82 y 50,51 W m⁻², respectivamente) alcanzan el valor más alto.

Para el año 2009 la Figura 6.1.8c muestra tendencia a la subestimación del valor de Rn en los niveles más altos de esta (bias=-37,61 W m⁻²). Aún cuando los índices del Cuadro 6.1.6 muestran un buen nivel de ajuste ($r^2 = 0,94$), indican también el error más alto de todos los sectores estudiados (RMSE = 70,82 W m⁻², MAE= 50,51 W m⁻²). El análisis de la pendiente muestra que para el año 2009 el modelo subestima el valor de Rn con un error del 23%.

El análisis de Rn diaria (Cuadro 6.1.7) muestra comportamientos distintos para ambas temporadas. El bajo nivel de ajuste ($r^2 = 0,41$ en 2008 y 0,40 en 2009) pone en evidencia que el modelo explicó pobremente el comportamiento de Rn diaria en esta zona.

6.1.2.4.4 Región del Maule, Comuna de Parral, Sector Quillaimo

Para el año 2008 el período de datos analizados es del 18 de Abril al 16 de Mayo, resultando en 39 días (7 días nublados). El año 2009, el período considerado es del 14 al 26 de Enero, resultando en 15 días (3 días nublados) de datos.

La Figura 6.1.8d, indica que existió un buen grado de asociación entre los valores de Rn observados y estimados en ambas temporadas. En el año 2008 se presenta un bajo grado de dispersión. Durante esta temporada, los valores de Rn se encontraron bajo los 400 W m⁻², debido a que las mediciones se realizaron en el principio del período de baja radiación solar. El análisis estadístico presentado en el Cuadro 6.1.8 muestra que el modelo de la Rn FAO estimó Rn con el menor nivel de error de las zonas estudiadas (RMSE= 17,01 W m⁻² MAE= 14,02 W m⁻² año 2008), el que aumenta el año 2009 derivado de la mayor dispersión de los datos. En general, se observa una leve tendencia a subestimar Rn en los niveles más altos de esta (1-4%).

El análisis de R_n diaria (Cuadro 6.1.7) muestra comportamientos similares en ambas temporadas. Buenos niveles de ajuste ($r^2 = 0,91$ en 2008 y $0,98$ en 2009) y los niveles de error más bajos, indican que el modelo explicó en forma adecuada el comportamiento de R_n diaria en esta zona.

A pesar que los períodos de medición fueron en situaciones de ambientes radiativos distintos, el modelo se generó resultados consistentes en ambas temporadas.

6.1.2.5 Discusión

El modelo R_n FAO presentó un buen ajuste a los valores medidos de R_n ($r^2 = 0,95\%$ o superiores), para los datos horarios. En general se observaron tendencias similares entre los distintos años para cada sector.

Las medidas de error encontradas en el presente estudio son coherentes con las publicadas en estudios previos (RMSE= $24,56 \text{ W m}^{-2}$ datos horarios (Gavilán, 2007); RMSE= $1,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en datos diarios (Kjaersgaard et al., 2009); DEE= $26,65 \text{ W m}^{-2}$ (Temesgen et al., 2007)). Además, las medidas de tendencia muestran comportamientos similares (bias= $-9,5 \text{ W m}^{-2}$ en datos horarios, bias = $-1.11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en datos diarios (Gavilán, 2007)). El error calculado en los datos horarios excede el 10% solamente en el sector La Calor para el año 2009, esto es consistente con los niveles de error encontrados en la literatura (4% a 6 % (Gavilán, 2007); 5% (Kjaersgaard et al., 2009); 8% (Temesgen et al., 2007)).

Se ha sugerido que subestimaciones en los niveles superiores del flujo de R_n durante el día están dados por α . Situaciones en las cuales la superficie no se asemeja a la de referencia, determinan mediciones de R_n de hasta 100 W m^{-2} (Allen, 2009. Comunicación personal). (Gavilán et al., 2007) probaron distintos niveles de α , obteniendo diferencias significativas en el desempeño del modelo. Estas diferencias se presentan cuando el pasto no está creciendo en óptimas condiciones de reposición hídrica o no proporciona una cobertura completa del suelo. Se ha sugerido que la fuente de estas incertezas radican en el diferente comportamiento de la temperatura del suelo con respecto a la temperatura del aire, la que además se ve potenciado por los cambios en la cobertura de nubes (Temesgen et al., 2007).

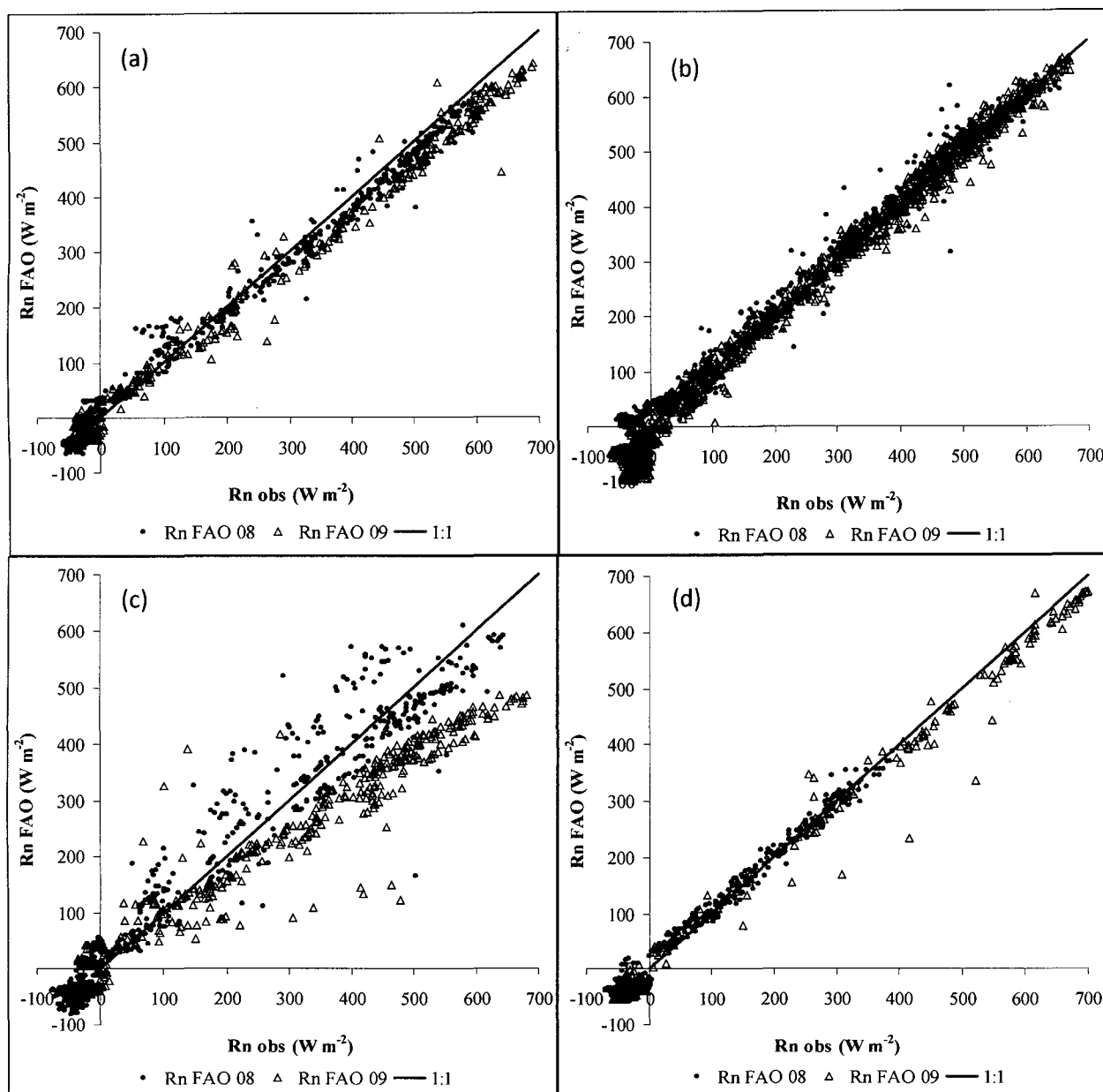


Figura 6.1.8 Comparación horaria entre los flujos de radiación neta observada (Rnobs) y estimados (Rn FAO) para diferentes superficies en referencia, para (a) Coltauco (Región de O'Higgins); (b) Panguilemo; (c) La Calor y (d) Quillaimo (Región del Maule), para los períodos 2008 y 2009.

Cuadro 6.1.6 Análisis estadístico del modelo de Rn FAO (Horario)

	Los Bronces			Panguilemo			La Calor			Quillaimo		
	2008	2009	Media	2008	2009	Media	2008	2009	Media	2008	2009	Media
n	864	480	672	1.320	1.824	1.572	792	745	769	696	392	544
r^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99
DEE	20,63	22,09	21,36	26	21,67	23,84	44,11	35,68	39,90	16,91	22,83	19,87
Test Z	F	F		F	F		F	F		V	F	
a	- 2,39	9,15	3,38	10	-21,77	- 5,89	2,91	-6,41	- 1,75	-2,93	-5,24	- 4,09
b	0,96	0,90	0,93	0,99	1,05	1,02	0,97	0,77	0,87	1,01	0,96	0,99
RMSE ($W m^{-2}$)	24,04	33,95	29,00	27,51	33,34	30,43	44,44	70,82	57,63	17,01	28,01	22,51
MAE ($W m^{-2}$)	17,57	28,12	22,85	20,51	29,98	25,25	30,36	50,51	40,44	14,02	18,37	16,20
BIAS ($W m^{-2}$)	- 7,95	- 7,56	7,76	8,87	-20,41	- 5,77	-0,34	-37,61	- 18,98	-2,62	-12,82	- 7,72
IA	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00

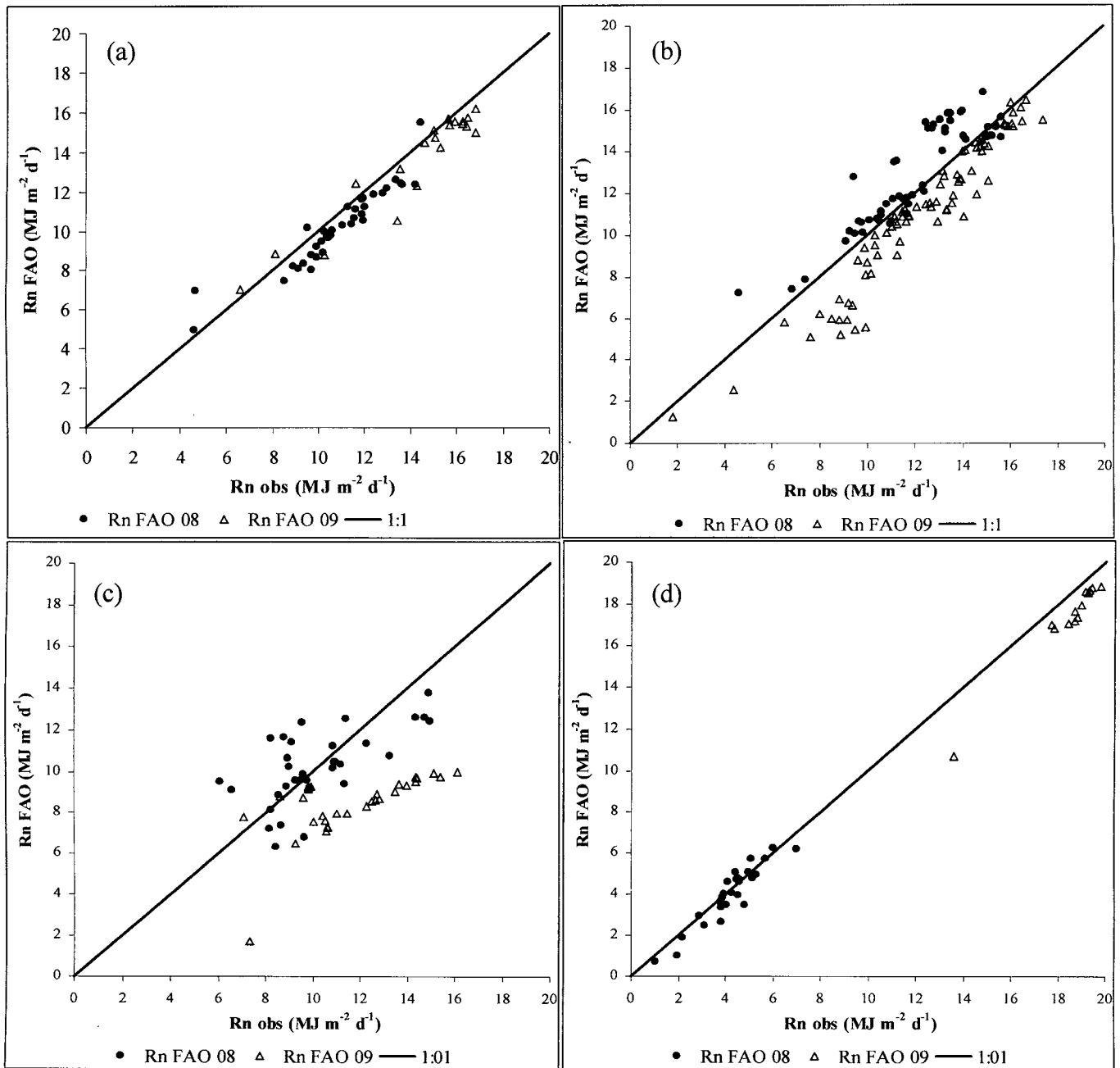


Figura 6.1.9 Comparación entre los flujos diarios de radiación neta observada (Rn obs) y estimados (Rn FAO) para diferentes superficies en referencia, para (a) Coltauco (Región de O'Higgins); (b) Panguilemo; (c) La Calor y (d) Quillaimo (Región del Maule), para los periodos 2008 y 2009.

Cuadro 6.1.7 Análisis estadístico del modelo de Rn FAO (Diario)

	Los Bronces			Panguilemo			La Calor			Quillaimo		
	2008	2009	Media	2008	2009	Media	2008	2009	Media	2008	2009	Media
n	36	20	28	55	76	66	33	31	32	29	13	21
R ²	0,88	0,9	0,89	0,8	0,92	0,86	0,41	0,4	0,41	0,91	0,98	0,95
DEE	0,7	0,88	0,79	1,1	0,96	1,03	1,39	1,22	1,31	0,49	0,34	0,42
Test Z	F	V		V	F		F	F		V	F	
a	0,95	0,92	0,94	1,9	-2,72	- 0,41	5,01	3,6	4,31	-0,49	-7,34	- 3,92
b	0,85	0,89	0,87	0,91	1,12	1,02	0,51	0,41	0,46	1,06	1,34	1,20
RMSE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	0,96	0,92	0,94	1,01	1,13	1,07	1,19	1,81	1,50	0,64	1,05	0,85
MAE (MJ m ⁻² d ⁻¹)	0,92	0,85	0,89	1,02	1,28	1,15	1,41	3,28	2,35	0,41	1,11	0,76
BIAS (MJ m ⁻² d ⁻¹)	-0,69	-0,65	- 0,67	0,8	-1,28	- 0,24	-0,03	-3,22	- 1,63	-0,23	-1,11	- 0,67
IA	0,94	0,96	0,95	0,95	0,96	0,96	0,79	0,43	0,61	0,97	0,89	0,93

6.1.2.6. Conclusiones

El modelo de Rn FAO muestra un buen comportamiento en distintas condiciones geográficas, climáticas y período del año. Los niveles de error obtenidos son similares a otros publicados en la literatura.

Los buenos indicadores obtenidos en el sector Quillaimo (2008-2009) muestran que la presencia de días nublados no afectaron las estimaciones de Rn, como tampoco los distintos ambientes radiativos.

El comportamiento deficiente del modelo en el sector La Calor (2008-2009), se asocia a que la cobertura vegetal cumple en menor grado con las del cultivo teórico de referencia por lo que el albedo difiere del supuesto. Esto pone en evidencia la necesidad de establecer un control estricto acerca de las condiciones de instalación de los equipos de modo de asegurar una mejor estimación de la ET.

6.1.2.7 Bibliografía

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. United Nations Food And Agriculture Organization Irrigation and Drainage Paper 56.
- Baumtgarner, A., and E. Reichel. 1975. The World Water Balance. R. Oldenbourg-Verlag, München, Wien:1-179.
- Brotzge, J.A., and C.E. Duchon. 2000. A Field Comparison among a Domeless Net Radiometer, Two Four-Component Net Radiometers, and a Domed Net Radiometer. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 17:1569-1582.
- Brutsaert, W. 1991. Evaporation into the atmosphere. Kluwer Academic Publishers Incorporates:299.
- Burns, S.P., J. Sun, A.C. Delany, S.R. Semmer, S.P. Oncley, and T.W. Horst. 2003. A field intercomparison technique to improve the relative accuracy of longwave radiation measurements and an evaluation of CASES-99 pyrgeometer data quality. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20:348-361.
- Cobos, D.R., and J.M. Baker. 2003. INSTRUMENTATION: Evaluation and Modification of a Domeless Net Radiometer *Agronomy Journal* 95:177-183.

- Gavilán, P., J. Berengena, and R.G. Allen. 2007. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. *Agricultural water management* 89:275-286.
- Kjaersgaard, J.H., R.H. Cuenca, A. Martínez-Cob, P. Gavilán, F.L. Plauborg, M. Mollerup, and S. Hansen. 2009 Comparison of the performance of net radiation calculation models Theoretical and Applied Climatology.
- Llasat, M.C., and R.L. Snyder. 1998. Data error effects on net radiation and evapotranspiration estimation. *Agricultural and Forest Meteorology* 91:209-221.
- Mayer, D.G., and D.G. Butler. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling* 68:21-32.
- Monteith, J.L., and M.H. Unsworth. 2008. *Principles of Environmental Physics*.
- Ortega-Farias, S., R. Calderon, C. Acevedo, and S. Fuentes. 2000. Estimation Of Daily Tomato Evapotranspiration Using The Penman-Monteith Equation. *Ciencia e Investigación Agraria* 27:91-96.
- Temesgen, B., S. Eching, and K. Frame. 2007. Comparing net radiation estimation methods: CIMIS versus Penman-Monteith. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce* 133:265-271.
- Yin, Y., S. Wu, D. Zheng, and Q. Yang. 2008. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. *Agricultural water management* 95:77-84.

6.2 Unidades agroclimáticas de validación (UAV).

Introducción

Para disminuir los problemas ocasionados por una mala aplicación hídrica en la agricultura, se hace indispensable efectuar una correcta programación del riego (frecuencia y tiempo de riego) a fin de reponer de manera oportuna y adecuada las necesidades de agua del cultivo. Sin embargo, para realizar una eficiente programación, es necesario contar con información respecto a la evapotranspiración actual del cultivo (ET_a), es decir, la estimación del consumo de agua de las plantas, la cual puede ser calculada usando el método propuesto por “La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación” (FAO) conocido como método FAO-56 donde a través de mediciones agroclimáticas capturadas mediante una estación meteorológica automática (EMA) (Figura 6.2.1) se determina una evapotranspiración sobre un cultivo de referencia (ET_r) la que es ajustada por un coeficiente de cultivo (K_c).



Figura 6.2.1. Estación meteorológica automática (EMA).

La ecuación de Penman-Monteith para el cálculo de Etr queda descrita como:

$$E_{Tr} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

donde: ETr = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹), R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹), G = flujo de calor latente (MJ m⁻² día⁻¹), T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), U₂ = velocidad media del viento a 2 m de altura (m s⁻¹), e_s = presión de vapor de saturación (KPa), e_a = presión real de vapor (KPa), e_s - e_a = déficit de presión de vapor (KPa), Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (KPa °C⁻¹), γ = constante psicrométrica (KPa °C⁻¹).

Conociendo la evapotranspiración de referencia, la ETa se calcula en base a la siguiente expresión:

$$ETa = E_{Tr} * K_c \quad (1)$$

donde: ETa = evapotranspiración actual (mm día⁻¹), ETr = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹), Kc = coeficiente de cultivo.

El Kc varía de acuerdo al desarrollo fenológico, pues se incrementa al crecer la demanda generada por las hojas y frutos avanzada la temporada. Debido a que los coeficientes Kc deben ser ajustados localmente, los mayores errores de esta metodología están asociados al uso generalizado de valores de coeficientes extraídos desde estudios extranjeros. Por lo tanto, es necesario calibrar el Kc, a fin de obtener una herramienta de programación de riego más ajustada que permita obtener la mejor combinación entre rendimiento y calidad, sumados a importantes ahorros de agua y energía.

El proyecto SEPOR, se presenta con el objetivo de lograr la optimización técnica y económica del uso del agua de riego, mediante la puesta a disposición de los agricultores de un sistema de información en tiempo real orientado a satisfacer y regular eficientemente, en cantidad y oportunidad, los requerimientos de agua de los cultivos, para las diferentes

etapas de su desarrollo en las áreas regadas de la Segunda sección del río Cachapoal en la Región de O'Higgins y del Canal Maule Norte y Río Longaví en la Región del Maule. Para esto y con el fin de evaluar el efecto de diferentes niveles de reposición hídrica, sobre la producción y calidad de distintos huertos comerciales ubicados en las diferentes zonas de influencia de las juntas de vigilancia, es que se realizaron varios ensayos para estimar las necesidades de los cultivos asociados a cada área agroclimática, los que fueron definidos como Unidades Agroclimáticas de Validación (UAV) (Cuadro 6.2.1).

Cuadro 6.2.1. Unidades Agroclimáticas de Validación (UAV).

Ensayo	Variedad	Temporada	Localidad	Asociación
Uva de mesa	Thompson Seedless	07/08, 08/09	Coltauco	J.V. 2ª Sec. Río Cachapoal
Manzano	Royal Gala	07/08, 08/09	Coltauco	J.V. 2ª Sec. Río Cachapoal
Maíz	Semillero	08/09	Coltauco	J.V. 2ª Sec. Río Cachapoal
Manzano	Royal Gala	07/08, 08/09	Pelarco	Asoc. Canal Maule Norte
Vid vinífera	Carmenère	06/07, 07/08, 08/09	Talca	Asoc. Canal Maule Norte
Olivos	Arbequina	06/07, 07/08, 08/09	Pencahue	Asoc. Canal Maule Norte
Maíz	Semillero	07/08, 08/09	San Clemente	Asoc. Canal Maule Norte
Tomate	Industrial	07/08	San Clemente	Asoc. Canal Maule Norte
Tomate	Industrial	08/09	San Clemente	Asoc. Canal Maule Norte
Arándano	Briggita	07/08	Longaví	J.V. Río Longaví
Arándano	Bonita	08/09	Retiro	J.V. Río Longaví
Maíz	Grano	08/09	Retiro	J.V. Río Longaví
Manzano	Pink Lady	08/09	Retiro	J.V. Río Longaví

En estas Unidades, se realizó la calibración de los coeficientes de cultivo (K_c) para las distintas especies seleccionadas. Para lo cual se estableció un diseño completamente al azar, donde se evaluaron cinco niveles de reposición hídrica, $T_1 = 50\%$, $T_2 = 75\%$, $T_0 = 100$, $T_3 = 125$ y $T_4 = 150\%$ del riego aplicado por el productor (según la programación de riego entregada basada en coeficientes extraídos de literatura y la Etr de la EMA asociada al ensayo). Así, el diseño generó un total de cinco tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. A su vez, cada repetición o unidad experimental estuvo compuesta en algunos casos por tres y en otros por cuatro plantas.

En el ensayo de Uva de mesa Thompson Seedless los tratamientos fueron reducidos a tres (63, 100 y 138%). En el ensayo de olivo, cultivar Arbequina, en cambio, se evaluaron seis

niveles de reposición hídrica entre inicio de endurecimiento de carozo y cosecha de 30, 60, 80 y 100% de la Eta del olivo y un control con el riego aplicado por la empresa. Así, el diseño generó un total de seis tratamientos con tres repeticiones cada uno. En la vid vinífera también se realizó otra estrategia de riego, la que contó con cuatro niveles de aplicación hídrica, en los períodos de cuaja y pinta, con tres repeticiones cada uno.

La primera información requerida para una programación de riego son las propiedades físico-hídricas del suelo, para lo cual se tomó una muestra representativa de los primeros 30cm del sector de los ensayos (Figura 6.2.2) a los que se les determinó sus contenidos de arena, limo y arcilla con lo que se estableció su capacidad de campo (CC) y su punto de marchitez permanente (PMP) mediante el software SPAWhidrology (Cuadro 6.2.2), ambos en valores de humedad volumétrica.

Cuadro 6.2.2. Propiedades físico hídricas de los suelos.

Ensayo	Variedad	Localidad	Textura	CC (%vol)	PMP (%vol)
Uva de mesa	Thompson Seedless	Coltauco	Franco arcilloso	35,2	20,0
Manzano	Royal Gala	Coltauco	Franco arcilloso	35,1	20,2
Maíz	Semillero	Coltauco	Franco arenoso	23,2	12,7
Manzano	Royal Gala	Pelarco	Franco arcilloso	34,9	21,6
Vid vinífera	Carmère	Talca	Franco	24,9	14,3
Olivos	Arbequina	Pencahue	Franco arcilloso	35,3	20,9
Maíz	Semillero	San Clemente	Franco arcilloso	35,8	20,2
Tomate	Industrial 07/08	San Clemente	Franco	31,7	14,3
Tomate	Industrial 08/09	San Clemente	Franco arcilloso	35,4	14,3
Arándano	Briggita	Longaví	Franco arenoso	28,1	12,9
Arándano	Bonita	Retiro	Franco limoso	34,3	14,1
Maíz	Semillero	Retiro	Franco arcilloso	34,1	19,4
Manzano	Pink Lady	Retiro	Franco limoso	33,5	13,2

Fuente: Centro de Información y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA).



Figura 6.2.2. Calicatas para muestras de suelo.

Una de las formas para evaluar el efecto de los tratamientos fue realizar mediciones del contenido de agua en el suelo, usando la técnica de la reflectometría en el tiempo con un instrumento que mide indirectamente el contenido volumétrico de agua (TDR, Trase System, Inc., California, USA), hasta la profundidad efectiva de raíces a través de varillas de acero inoxidable (de 30 a 60 cm de longitud, Figura 6.2.3).



Figura 6.2.3. Instalación de varillas para la medición de la humedad de suelo con TDR.

Además, se utilizó otro parámetro de control; el potencial hídrico del xilema al mediodía (Ψ_{md}) mediante una cámara de presión (Bomba Scholander, PMS Instruments Co.,

Oregon, EE.UU.). Con esto se determina el estado hídrico de la planta, del cual se obtiene un índice que marcaría el límite al que puede estar sometida una planta sin sufrir mermas en su rendimiento (Figura 6.2.4).



Figura 6.2.4. Medición de potencial hídrico xilemático con bomba Scholander.

Dentro del total de ensayos realizados hubo tres que mostraron la misma tendencia, estos son: manzano, uva de mesa y arándano, donde restricciones hídricas provocan de alguna forma bajas en los rendimientos, estando el límite en los coeficientes de cultivo usados como testigo (T0).

En el caso del ensayo de manzano Royal Gala realizado en Coltauco, no se obtuvo diferencias en la humedad de suelo ni en el potencial de xilema, el que bordeó los $-1,3\text{Mpa}$, ni tampoco se presentó la tendencia esperada. Esto se debió a la aparición de una napa a los 60 cm de profundidad a mediados de temporada producto de la infiltración de una acequia en la parte alta del cuartel (Figura 6.2.5), la cual generó en los dos años de estudio un aporte extra de agua en los meses de enero y febrero, provocando una homogenización en el perfil de suelo, impidiendo que la humedad bajara del 28%. Además, se observó que la frecuencia de riego no fue la apropiada, ya que los tratamientos con mas agua quedaban en los mismos niveles de humedad que los menos regados antes de la próxima aplicación hídrica, generando una pérdida de agua por exceso del orden del 50% para las condiciones de este ensayo, obteniendo en promedio 30 ton ha^{-1} en la primera temporada, mientras que

en la segunda, se llegó a las 60 ton ha⁻¹ promedio, evidenciando, además, añerismo por un mal manejo en el ajuste de carga.



Figura 6.2.5. Problemas de afloramiento de napa en el ensayo de manzano en Coltauco.

En cuanto a los ensayos realizados en manzano Royal Gala en Pelarco (Figura 6.2.6A) y manzano Pink Lady en Retiro (Figura 6.2.6B), estos sí mostraron una diferenciación en las cargas de agua aplicadas, manifestándose en diferencias significativas (en las dos temporadas) en los potenciales hídricos de xilema medidos a medio día, resultando los tratamientos menos regados (T1 y T2) con los potenciales más bajos, llegando a valores de -1,6MPa (Figura 6.2.7), junto con niveles de humedad que bordean el punto de marchitez permanente (Figura 6.2.8). Mientras que los mas regados se mantuvieron durante toda la temporada cercano a capacidad de campo y con valores de Ψ_{md} superiores a -1Mpa.



Figura 6.2.6. A) Ensayo manzano Pelarco. B) Ensayo manzano Retiro.



Figura 6.2.7. Medición del estado hídrico de la planta usando una bomba Scholander en ensayo de manzano.



Figura 6.2.8. Medición de la humedad de suelo con TDR usando varillas de acero inoxidable de 60 cm de longitud en ensayo de manzano.

Además, estas diferentes cargas de agua aplicadas, tuvieron una influencia clara sobre el rendimiento y peso de frutos, a pesar de no existir diferencias significativas, llegando en el caso del ensayo de Pelarco a 47 Ton ha⁻¹ en la primera temporada con 170 gr de peso de fruto. En la segunda temporada estos valores se redujeron a 35 Ton ha⁻¹ y 184 gr en la fruta, observándose los valores más altos en los tratamientos con mayor aporte hídrico (desde T0 a T4).

En cuanto al ensayo realizado en Retiro, pero en la variedad Pink Lady (de cosecha más tardía), este también mostró la tendencia esperada, llegando a las 50 Ton ha⁻¹ y 174 gr de peso de fruto (entre T0 y T4).

Por lo tanto, basándose en la combinación entre rendimiento, peso de fruto y ahorro de agua, los mejores resultados en estas dos variedades se obtienen usando coeficientes de cultivo en desarrollo de fruto de 1,0 y en cosecha de 0,7, evitando bajar de -1,2MPa en el potencial hídrico xilemático al medio día.

En Coltauco se realizó además un ensayo en uva de mesa Thompson Seedless (Figura 6.2.9). Aquí los niveles de humedad de suelo (Figura 6.2.10) en la primera temporada se mantuvieron entre capacidad de campo y criterio de riego con potenciales hídricos que no bajaron de -1MPa, indicando que no se sometió a estrés. En cambio, en la segunda temporada T1 se mantuvo desde pinta hasta cosecha en niveles de humedad de suelo menor al criterio de riego generando como consecuencia que los datos de medición del potencial (Figura 6.2.11) bajaran de la barrera de los -1MPa llegando a valores de -1,2MPa durante pinta, repercutiendo en un menor peso de racimo para este tratamiento.



Figura 6.2.9. Cuartel de ensayo de uva de mesa en Coltauco.



Figura 6.2.10. Medición del estado hídrico del suelo con TDR usando varillas de acero inoxidable de 60 cm de longitud en ensayo de uva de mesa.



Figura 6.2.11. Medición del potencial hídrico xilemático al medio día usando una bomba Scholander en ensayo de uva de mesa.

Los diferentes tratamientos mostraron una tendencia clara sobre los factores del rendimiento a pesar de que no alcanzó a ser significativa, obteniendo en la primera temporada 31 Ton ha⁻¹ y 720 gr en peso de racimo. En cambio, en la segunda temporada, estos resultados estuvieron en 36 Ton ha⁻¹ en cuanto al rendimiento y en 702 gr en el peso de racimo. Una situación parecida se observó en los factores de calidad, si bien durante la segunda temporada hubo diferencias entre los tratamientos de riego, estos no generaron diferencias significativas en el pH, acidez total y sólidos solubles, al igual que durante la primera temporada.

En relación al porcentaje de cobertura de suelo (sombra proyectada por la planta al medio día), se observó durante 2007-08 un valor que llegó al 78%, mientras que durante el 2008-09 la máxima cobertura fue de sólo un 53%. Lo cual se debió principalmente a un desbrote más severo durante la segunda temporada, a pesar de eso, no se observa una disminución en los requerimientos hídricos del viñedo.

En consecuencia, analizando la combinación entre los resultados de rendimiento, calidad y potencial de xilema, se puede concluir que los coeficientes de cultivo mas apropiados para las condiciones de este ensayo son: Floración 0,6; Cuaja 0,9; Pinta 1,0 y Cosecha 0,8. Con estos Kc las plantas no deberían bajar de -1MPa en el potencial hídrico de xilema al medio día, valor considerado como límite para un buen estatus hídrico.

Mas al sur, en la zona de Longaví, se llevó a cabo un ensayo en arándanos de la variedad briggitta (arbusto alto) durante la temporada 2007-2008 (Figura 6.2.12A), en cambio, en la temporada siguiente, 08-09 el ensayo se trasladó a Retiro en arándanos de la variedad Bonita (ojo de conejo) (Figura 6.2.12B) por ser plantas mas adultas y por ende, mas estable en sus rendimientos.

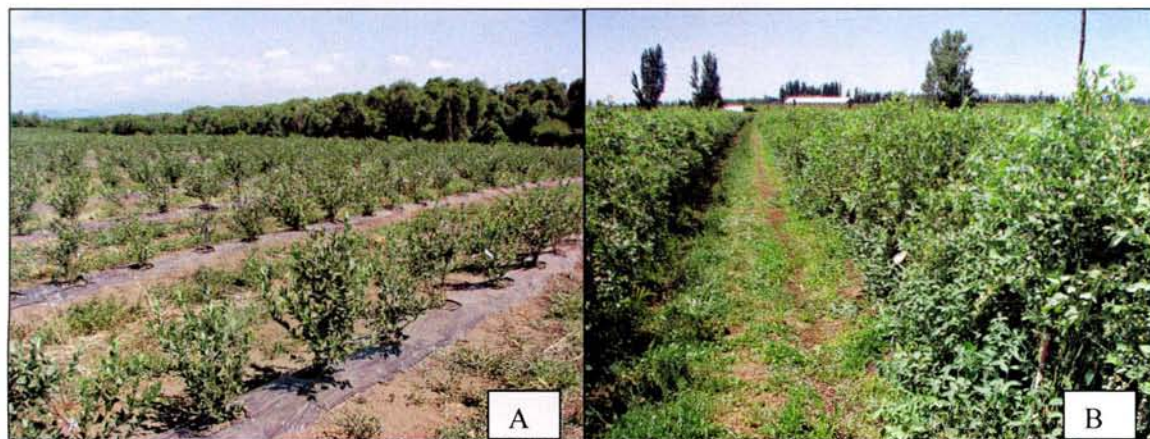


Figura 6.212. A) Cuartel de ensayo arándanos Briggita, Longaví. B) Cuartel de ensayo arándanos Bonita, Retiro.

En el primer ensayo los riegos se realizaban en forma diaria, manteniéndose la humedad de suelo medida entre criterio de riego y CC (Figura 6.2.13), no mostrando diferencias significativas entre los tratamientos. Situación similar ocurrió en la medición del potencial hídrico xilemático al medio día, el que fluctuó entre $-0,2$ y $-0,6$ MPa. Aquí los rendimientos llegaron como máximo a los 1.300 Kg ha^{-1} , debido a su baja edad (2 años). De esto se puede inferir que un coeficiente de cultivo para las condiciones de este estudio no deberían superar en: floración $0,10$; cuaja, $0,15$; pinta, $0,15$; cosecha, $0,10$. Algunos autores sostienen que el coeficiente de cultivo para este tipo de arándanos es de 1,5 veces el porcentaje de sombra proyectada por la planta en el suelo que en este caso llegó como máximo al 10% , es decir, el K_c no debería ser mayor de $0,15$, logrando con esto una reducción importante en el uso del agua (del orden del 50% en este campo).



Figura 6.2.13. Medición del estado hídrico del suelo con TDR usando varillas de acero inoxidable de 60 cm de longitud.

En el ensayo realizado en Retiro, en cambio, se encontraron claras diferencias entre los niveles de humedad para los cinco tratamientos, manteniéndose T1 y T2 bajo el criterio de riego y mas cercano a PMP, lo que se tradujo en que dentro del período de cosecha los potenciales de xilema (Figura 6.2.14) mostraran diferencias significativas. Aquí se encontró que al bajar la humedad de suelo del nivel de criterio de riego (50%), los Ψ_{md} resultaban menores de -1,0MPa.



Figura 6.2.14. Tapado de brotes para la medición del potencial hídrico xilemático al medio día

Los rendimientos conseguidos estadísticamente fueron similares entre los tratamientos, pero mostrando a T0 como la mejor alternativa ya que presenta una producción de 12 Ton ha⁻¹ y un peso de fruto de 1,54 gr, similar a los mas regados.

Por lo tanto, basado en los resultados obtenidos para las condiciones locales en el ensayo de arándanos Bonita, y tomando en cuenta que las diferencias de rendimiento se establecen en el parámetro de peso de fruto, es que puede concluir que el tratamiento con mejores resultados y mayor eficiencia en el uso del agua es T0 con coeficientes de cultivo de: Floración 0,2; Cuaja, 0,5; Pinta, 0,5 y Cosecha, 0,4.

Por otra parte, de los potenciales de xilema medidos a medio día, se puede concluir que desde pinta a cosecha se debe manejar el cultivo como mínimo a -1,0Mpa para no afectar el deshidratado y desarrollo máximo de bayas. Visto de otra forma, si la humedad de suelo se mantiene sobre el criterio de riego, el potencial de xilema debería mantenerse sobre los -1MPa.

En Cuanto al ensayo de tomate industrial realizado en el sector de Bramadero (Figura 6.2.15), comuna de San Clemente, el criterio de riego fue de un 30%, es decir, se deja agotar un 30% de la humedad aprovechable antes de la nueva aplicación hídrica.



Figura 6.2.15. Cuarteles de ensayo de tomate industrial

Para determinar los tiempos de riego y el largo de varillas mas apropiado para medir la humedad de suelo, se realizaron pruebas de infiltración (Figura 6.2.16) y calicatas, donde se observó la profundidad efectiva de raíces (Figura 6.2.17).



Figura 6.2.16. Pruebas de infiltración mediante el método de surco infiltrómetro con canoas Washington State College (WSC).



Figura 6.2.17. Calicata para determinar profundidad de raíces, ensayos Tomate industrial.

Durante la primera temporada se lograron establecer diferencias significativas en la humedad de suelo (Figura 6.2.18), manteniendo a T1 bajo el umbral de riego y a T4 en capacidad de campo, indicando este último un exceso de agua. En la segunda temporada se

usó un suelo con una mayor capacidad de retención hídrica donde no se observó diferencias significativas en los contenidos de humedad durante toda la temporada manteniéndose entre CR y CC.



Figura 6.2.18. Medición del estado hídrico del suelo con TDR usando varillas de acero inoxidable de 60 cm de longitud en ensayo de tomate industrial.

La cosecha se realizó cuando se habían acumulado 1.100 grados día acumulado (GDA) para ambas temporadas. Además, los riegos se cortaron 15 días antes (posterior a la aplicación de etileno para apurar la maduración de frutos atrasados).

Al comparar los resultados de cosecha, en la primera temporada sólo se observan diferencias estadísticas en el desecho (tomates podridos) que fue más alto en el tratamiento con más agua. El rendimiento comercial e industrial de T0 y T3 a pesar de no presentar diferencias estadísticas, los señala como los mejores, llegando a las 110Ton ha⁻¹ (comercial) y 16Ton ha⁻¹ (industrial) para ambos tratamientos. En la segunda temporada ocurrió algo similar, ya que fue T0 el que obtuvo los mayores valores llegando a las 94 Ton ha⁻¹ en comercial y 16Ton ha⁻¹ en industrial. En ambos ensayos la fruta verde y el desecho aumentó para los tratamientos mas regados durante el final del periodo de desarrollo.

Por lo tanto, según los resultados obtenidos para las condiciones locales en los ensayos de tomate industrial y tomando en consideración que las pocas diferencias en los contenidos

de humedad de suelo pueden deberse a que posterior a los riegos la cantidad de agua logró llegar a CC (por un criterio de riego muy bajo) para todos los tratamientos, es que se puede concluir que la mayor eficiencia en el uso del agua se alcanza aumentando el criterio de riego de un 30 a un 50% y con los coeficientes de cultivo de: Trasplante 0,8; 5-6 brotes por planta a Primer fruto, 0,9; Floración, 1,1; Inicio de madurez hasta el corte de riego, 1,2.

También se evaluó el efecto de cinco láminas de riego sobre el rendimiento en maíz semillero y de grano en las regiones de O'Higgins (Coltauco) y del Maule (San Clemente y Retiro).

Aquí también se realizaron pruebas de infiltración para determinar los tiempos de riego mediante el método de surco infiltrómetro con canoas Washington State College (WSC) (Figura 6.2.19).



Figura 6.2.19. Pruebas de infiltración mediante el método de surco infiltrómetro con canoas Washington State College (WSC).

En Coltauco (Figura 6.2.20), el contenido volumétrico de agua en el suelo estuvo por sobre capacidad de campo para la totalidad de los tratamientos durante la temporada de estudio, no detectando diferencias significativas entre ellos, lo cual indicaría que los riegos no se aplicaron de manera correcta (se entregó una planilla de riego al productor para cada tratamiento). Esto debido posiblemente a causa de caudales elevados y a un débil control de malezas (Figura 6.2.21), lo que provocó que las aplicaciones de agua se filtraran de un

surco a otro transformando este sistema en un riego por “tendido”, logrando en promedio 31 qq ha⁻¹ para todos los tratamientos.



Figura 6.2.20. Parcela de ensayo en maíz semillero, Coltauco.



Figura 6.2.21. Problemas de borrado de surcos debido al escaso control de malezas.

En el ensayo de San Clemente (Figura 6.2.22), en cambio, durante la temporada 2007-2008, el contenido de humedad volumétrica de suelo para el tratamiento T0 se mantuvo por debajo del valor crítico durante el periodo de formación de panoja y durante el inicio de floración. Para los tratamientos T1 y T2 esta se mantuvo bajo el criterio de riego durante todo el período de desarrollo, provocando efectos detrimentales en el rendimiento de grano del maíz semillero. Para los tratamientos T3 y T4 el contenido de agua del suelo se

mantuvo sobre el valor crítico de humedad durante todo el periodo de desarrollo, salvo nueve días durante el de llenado de granos, en los que la humedad de suelo permaneció ligeramente por debajo de este valor.



Figura 6.2.22. Parcela de ensayo en maíz semillero, San Clemente.

En la temporada 2008-2009, no se registraron tratamientos con niveles de humedad por debajo del umbral. La diferencia más clara se establece con T1 durante el periodo de maduración, ya que mantuvo un nivel de agua significativamente más bajo que el resto.

Aquí no se pudo establecer una diferencia significativa constante entre los tratamientos, debido principalmente a problemas de inundación por desborde de la acequia principal ocurridos durante el período de evaluación, lo que provocó en algunos momentos una homogenización en los niveles de humedad del sector del ensayo (Figura 6.2.23).



Figura 6.2.23. Problemas de anegamiento en el sector de ensayo de Maíz Semillero, temporada 2008-2009. San Clemente, Región del Maule.

En cuanto a los rendimientos, estos mostraron diferencias significativas en las dos temporadas de estudio. En la primera, T0 obtuvo el valor mas alto llegando a los 30 qq ha⁻¹, mientras que en la segunda, el tratamiento con mejores resultados fue T2 con 58 qq ha⁻¹.

En el ensayo realizado en Retiro (Figura 6.2.24) para maíz de grano, las mediciones de humedad (Figura 6.2.25) registrados, se mantuvieron entre PMP y el umbral de riego (CR), donde sólo se detecto una diferencia significativa en un día entre el periodo de floración y llenado de grano. En general, los distintos tratamientos mostraron una homogeneidad en los niveles de humedad del suelo.



Figura 6.2.24. Parcela de ensayo en maíz de grano, Retiro.



Figura 6.2.25. Proceso de medición de humedad de suelo en ensayos de maíz.

En este ensayo, de acuerdo a los resultados, el tratamiento T0 obtuvo el mayor rendimiento con 169,6 quintales por hectárea, mientras que el menor se encontró en el tratamiento T3 con 139 qq ha⁻¹.

Al combinar los resultados de todos estos ensayos de maíz, tanto de humedad como de rendimientos, se obtienen los coeficientes de cultivo de: siembra 0,4; formación de panoja 0,7; floración 1,2; llenado de grano 0,9 y maduración 0,6, como los mas apropiados independiente del tipo de maíz, en conjunto con un criterio de riego del 50%.

Por otro lado, en el ensayo realizado en olivos cultivar arbequina se utilizaron coeficientes de cultivo de 0,6 (considerado como 100%) desde inicio de endurecimiento de carozo (IEC) hasta cosecha. Para la realización de los ensayos se dividió en dos este período, endurecimiento de carozo (EC) y cosecha (COS) los que produjeron ahorros de agua con respecto al control de entre un 2,2% a un 37,0% para el tratamiento 100-100% (EC-COS) y 30-60%.

Dentro de los parámetros de control estaba la medición del potencial hídrico xilemático al medio día (Figura 6.2.26) donde se encontró que la cantidad de agua aplicada tiene una influencia significativa en el potencial de xilema, ya que este disminuyó a medida que el nivel de riego bajaba, llegando a valores de -3,4 MPa para el tratamiento más restrictivo (30-60%).



Figura 6.2.26. Mediciones del Potencial de xilema al mediodía.

El nivel de riego, sin embargo, no tuvo el mismo efecto en el otro parámetro de control utilizado para cuantificar el crecimiento de la planta, ya que no influyó significativamente en el resultado de la medición del largo de las ramillas (Figura 6.2.27).



Figura 6.2.27. Mediciones del Largo ramilla

La cantidad de agua de riego aplicada, en cambio, tuvo efectos significativos en el peso del fruto, peso de pulpa e índice de color para las tres temporadas. El mayor peso total y peso pulpa correspondió a los tratamientos mas regados (100-100% y Riego del agricultor), llegando a valores de 1,8gr y 1,5gr, respectivamente. El índice de madurez (color) a pesar de mostrar diferencias significativas entre los tratamientos este no aumentó a medida que se recortaba el agua, por lo tanto bajo las condiciones de este ensayo no es posible afirmar que el nivel de riego tuviese una incidencia clara en el nivel de madurez de la fruta.

También se analizaron los índices de calidad y la composición de ácido graso, los que no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos durante las tres temporadas ya que todos se encuentran dentro de los valores aceptados por el COI (Consejo Oleícola Internacional) para ser clasificados como aceite de oliva “extra virgen”.

En consecuencia, los tratamientos de riego intermedios (60-80% o 60-60%) surgen como las mejores alternativas en estas condiciones experimentales, es decir, se recomienda el uso del coeficiente de cultivo de 0,4 a partir del endurecimiento de carozo hasta cosecha con lo que se lograrían potenciales hídricos no menores de -2,2MPa durante este período.

En el valle del Maule también se realizó un ensayo, pero esta vez en un viñedo cv. Carménère de 9 años (Figura 6.2.28), plantados en orientación este-oeste el cual contaba con un dosel conducido en una doble cortina genovesa y que fue regado por un sistema de

goteo de 2 L h^{-1} (1 gotero por planta). La frecuencia y el tiempo de riego se realizaban según la evapotranspiración de la vid (ETa).



Figura 6.2.28. Parcela de ensayo Vid vinífera.

La aplicación diferenciada de las reposiciones hídricas, marcó diferencias significativas en la medición del contenido de humedad en el suelo (Figura 6.2.29). Estas diferencias se manifestaron principalmente a partir del periodo de pinta en adelante, donde los tratamientos con mayor restricción hídrica, es decir, el T2 (al que se le aplicaban un 40% de la Eta entre cuaja y pinta y un 70% entre pinta y cosecha) y el tratamiento 3 (40 y 40%) estuvieron incluso por debajo del criterio de riego en algunas ocasiones pero sin acercarse al punto de marchitez permanente.



Figura 6.2.29. Ubicación de guías y medición de la humedad de suelo con TDR

Por otra parte, los resultados de las mediciones del potencial de xilema de los tratamientos con restricción hídrica (Figura 6.2.30), también mostraron diferencias significativas alcanzando valores promedios de $-1,19\text{MPa}$ en pinta, y de $-1,3\text{MPa}$ un mes antes de cosecha pero llegando en la tercera temporada a los $-1,6\text{MPa}$, indicando con esto la presencia de un estrés hídrico severo.



Figura 6.2.30. Tapado de hojas para la medición del potencial hídrico xilemático al medio día.

En cuanto al efecto de los tratamientos sobre los componentes del rendimiento, sólo en la última temporada se observa una diferencia significativa entre el rendimiento obtenido con el tratamiento con 100% de la reposición hídrica, llegando a los 7,53 Kg pl⁻¹, el cual resultó ser mayor que el tratamiento con la menor aplicación de agua, el que obtuvo un rendimiento máximo de 5,16 Kg pl⁻¹, debido posiblemente a la situación de estrés a la que estuvo sometido ya que se aplicó un Kc de 0,1. Aún así, en general, no se establecen diferencias entre los tratamientos.

Por otro lado, la composición química del vino y el perfil de antocianas, no mostraron una clara diferencia, lo que indicaría que las vides cv. Carménère no fueron estresadas lo suficiente como para producir un efecto en estos parámetros.

Los ahorros de agua, sin embargo, generados por los distintos tratamientos de riego aplicados, alcanzaron disminuciones en el uso de agua desde un 25% hasta un 80% para la última temporada, en comparación a los niveles utilizados por el agricultor.

Finalmente, para las condiciones del ensayo se puede recomendar que el coeficiente de cultivo Kc mas adecuado para el manejo de vides cv. Carménère sería de 0.2 a partir del periodo de cuaja.

Al comparar todos los resultados encontrados en los diferentes ensayos realizados, se puede concluir que es posible obtener coeficientes de cultivo (Kc) específicos para cada cultivo y zona de influencia climática, logrando con esto una mejor distribución y manejo del agua de riego sin afectar las variables de rendimiento y calidad (para consultar el detalle de los ensayos, ver anexos).

CAPÍTULO 7

Conclusiones Finales

La implementación del módulo central, el desarrollo de un sistema informático (edSEPOR) y el un sistema de información geográfica (SIG), asociado al establecimiento de una red de EMA's que abarcaran la zona de influencia de la Junta de Vigilancia de la 2ª Sección del Río Cachapoal, Asociación Canal Maule Norte y Junta de Vigilancia del Río Longaví, permitieron el establecimiento de un servicio de programación del riego especializado para 108 productores asociados a estas tres organización de usuarios de agua. Este servicio sustentó sus bases de funcionamiento en la información de la demanda hídrica estimada a partir de las EMA's del sistema SEPOR, recopilación de información de suelo y del tipo de cultivo de cada productor beneficiado.

El programa de investigación aplicada permitió calibrar el modelo de radiación neta, Penman-Monteith y el desarrollo de tablas de coeficientes de cultivos, ajustados para los cultivos considerados en los ensayos de las unidades de validación (UAV).

Esta iniciativa permitió llegar a una cantidad importante de productores líderes asociados al proyecto, de manera que se generaron las confianzas para apoyarles en la gestión hídrica intrapredial, permitiendo en algunos casos solucionar problemas evidentes de mal manejo del riego.

En términos generales, gracias al trabajo mancomunado entre la CNR y el CITRA, se pudieron lograr los objetivos propuestos y además se crearon las instancias para la gestión de nuevas iniciativas complementarias para la subsistencia del SEPOR, tales como un programa de la CNR complementario al SEPOR 'Programa de Transferencia Tecnológica en Programación del Riego VI y VII regiones' (SEPOR 2), el cual se ejecutó entre los años 2009 y primer semestre de 2010, un proyecto FONDEF enviado al concurso regular 2009 y un proyecto INNOVA adjudicado (inicio ejecución estimada: agosto 2010). No obstante lo anterior, se sugiere la creación de nuevos instrumentos de subsidio o apoyo a iniciativas similares, para que cada OUA genere su propio departamento de asesoría al riego, como lo que actualmente se desarrolla en países como Estados Unidos y México, donde los

productores reciben apoyos del gobierno para operar las redes. Iniciativas como esta permitirán en el mediano plazo, potenciar la actividad agrícola, mejorando la eficiencia agronómica del riego, disminuyendo impactos tales como la sostenida disminución de agua que registra el país.

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los años 2007 y 2009, la Comisión Nacional de Riego (CNR) implementó y desarrolló el programa “Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (**SEPOR**)” en las áreas regadas del Río Cachapoal (2ª sección) en la VI Región, y Maule Norte y Longaví en la VII Región, con el objetivo de establecer y posicionar un sistema informático de apoyo para la gestión hídrica intrapredial, permitiendo entregar a los productores información climática básica (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y precipitaciones) y procesada (evapotranspiración, tiempos de riego y frecuencias de riego) para programar el riego de sus cultivos. Dicho programa fue ejecutado por el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), de la Universidad de Talca.

El sistema informático desarrollado (sistema edSEPOR) permitió la distribución de la información en forma rápida y expedita (tiempo real) a través de una página Web específica del proyecto (www.sepor.cl) y diferentes medios de comunicación escritos (cartillas, boletines, reportes, artículos en revistas).

El sistema SEPOR se encuentra formado por un modulo central (MC), unidades agroclimáticas de referencia (UAR) y de validación (UAV). El MC, corresponde a un sistema agroinformático que se estableció en las dependencias del Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Universidad de Talca. En este lugar se procesa, analiza y administra la información proveniente de las UAR y UAV. Las UAR correspondieron a estaciones meteorológicas automáticas (EMA's), instaladas en condiciones de referencia, específicamente para calibrar el modelo de evapotranspiración de Penman-Motetih. A su vez las UAV correspondieron a ensayos o experimentos con cultivos representativos de cada zona. A partir de la información generada se propuso un servicio de programación del riego a los agricultores, considerando la implementación del proyecto en base a las siguientes etapas: a) adquisición del equipamiento necesario para la operación y calibración del SEPOR; b) investigación aplicada; c) transferencia tecnología en tecnologías de riego y d) un plan de gestión del SEPOR.

La implementación consideró la compra tanto en el mercado nacional como en el internacional de equipamiento necesario para el desarrollo de la investigación aplicada y de validación, de esta manera se compraron equipos meteorológicos, micrometeorológicos, sensores de suelo y planta, junto con una serie de softwares específicos para lograr este objetivo. Para la operación eficiente del sistema SEPOR se requirió de investigación aplicada, la que permitió el desarrollo y/o calibración del algoritmo matemático de la programación del riego de acuerdo a las condiciones específicas de suelo clima, cultivo y manejo agronómico. Para ello, se realizó una calibración y/o desarrollo de los modelos físicos y biológicos de la ecuación de Penman-Monteith (PM).

En cada UAR se instaló una EMA para medir las variables climáticas, las cuales fueron usadas como variables de entrada en el modelo de Penman-Monteith, permitiendo de esta manera estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) horaria y diaria. Al respecto, en el Río Cachapoal (2ª sección) se instalaron 4 EMAs, en Maule Norte: 4 EMAs y en Longaví 3 EMAs. Además, una EMA se utilizó para chequear, cada seis meses, el correcto funcionamiento de las estaciones en terreno.

En cuanto a las UAV se establecieron ensayos de riego con el objeto de calibrar los coeficientes de cultivo (K_c) para optimizar el cálculo del consumo de agua y maximizar el rendimiento y calidad de los productos agrícolas. Para ello se eligieron cultivos representativos de cada una de las áreas bajo la influencia del proyecto, que fueron seleccionados en base a la experiencia y las observaciones de los beneficiarios de cada una de las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs) asociadas al proyecto. Estos cultivos fueron: uva de mesa, manzano, maíz semillero (J. Vig. 2ª Sección Río Cachapoal); tomate industrial, manzano, vid vinífera y olivo (Canal Maule Norte) y arándano, manzano y maíz grano (J. Vig. Río Longaví). A cada uno de ellos se le aplicó un tratamiento diferenciado de riego, de manera de ajustar los coeficientes de cultivo asociados, obteniendo indicadores fisiológicos como el potencial hídrico del xilema, para el caso de los cultivos donde se pudo medir esta variable. De esta manera se buscó estudiar la respuesta de la planta a la interacción entre el suelo, el agua y el ambiente.

Con la información generada de las UAV, más un diagnóstico de línea de base, generado a partir de una encuesta al inicio y final del programa, más información de fuentes terciarias, se evaluó en forma *ex post* la rentabilidad del SEPOR en las áreas de influencia y la adopción por parte de los regantes. De esta manera se buscaron argumentos económicos para poder respaldar la replicabilidad de este sistema en los distintos valles regados de nuestro país.

Además, se implementó un programa de transferencia y capacitación en las tecnologías de riego usados en el SEPOR, con el objeto de entregar las herramientas necesarias a los agricultores, técnicos y profesionales en el uso del servicio de programación del riego. Para cumplir con los objetivos anteriores, se realizaron actividades de difusión en forma oral (7 cursos, 11 seminarios, 15 días de campo, 4 talleres interactivos, además de reuniones grupales) y escrita (6 boletines, 18 cartillas y 11 artículos en revistas). Además, el equipo técnico de esta propuesta se realizó un servicio de asistencia técnica en riego a 108 productores dentro de las diferentes áreas de influencia, basados en apoyo para la programación del riego usando las recomendaciones generadas por el SEPOR, priorizando la capacitación de agricultores líderes. Al respecto las impresiones generales de los beneficiarios son positivas y reconocen mejoras en sus actividades productivas gracias a este servicio piloto. Es importante mencionar que las UAR y UAV se usaron como parcelas demostrativas en los días de campo que fueron organizados con los agricultores.

Para la gestión del SEPOR, se estableció un directorio formado por representantes de la CNR, el CITRA y un representante de cada organización de regantes. Este directorio tuvo por función definir las condiciones y amplitud de operación del SEPOR, así como la supervisión de las diferentes actividades que éste realizó, asesorando sobre esta base a la Unidad Técnica del SEPOR. De esta manera al momento de cierre de este informe, se está trabajando en la elaboración de un contrato, para traspasar las EMAs a las diferentes OUAs, de manera que ellos mantengan al sistema y el CITRA proporcione el apoyo para la toma de decisiones, en base a financiamiento propio.

Entre los principales resultados obtenidos en las UAVs durante los años 2007 al 2009 se pueden mencionar: (1) reducción en un 50% del valor de K_c para tomate industrial en comparación con los recomendados en la literatura, lo que permitiría un ahorro importante de agua sin afectar los parámetros vegetativos ni de rendimiento; (2) para el cultivo de maíz tanto de semillero como de grano, las aplicaciones de agua podrían ser disminuidas aproximadamente hasta en un 25% de la evapotranspiración real (E_{Ta}), nivel a partir del cual se obtendrían ahorros de agua sin generar pérdidas significativas en los rendimientos finales del maíz; (3) para manzano, el potencial hídrico del xilema mostró ser un buen indicador fisiológico del estado hídrico de la planta, donde los tratamientos con más agua fueron los que presentaron los mayores rendimientos; (4) para uva de mesa, los resultados mostraron que los K_c obtenidos fueron similares a los recomendados en literatura, permitiendo la mantención de rendimientos sustentables, utilizando un volumen de agua razonable durante la temporada; (5) para olivos es posible reducir las cantidades de agua de riego sin diferencias significativas en los rendimientos de fruta y en rendimiento graso; (6) para vid cultivar Carménère, es posible disminuir la cantidad de agua de riego aplicada al entre cuaja a cosecha, sin afectar de forma negativa la calidad final tanto de la fruta como la del vino resultante, produciendo con esto un ahorro importante de agua y energía eléctrica; (7) para arándano, se considera que el K_c en el período de cuaja, debido a la proyección de sombra, puede ser reducido a 0,13 sin afectar los parámetros del rendimiento, logrando con esto una reducción importante en el uso del agua.

Esta iniciativa permitió llegar a una cantidad importante de productores líderes asociados al proyecto, de manera que se generaron las confianzas para apoyarles en la gestión hídrica intrapredial, permitiendo en algunos casos solucionar problemas evidentes de mal manejo del riego.

En términos generales, gracias al trabajo mancomunado entre la CNR y el CITRA, se pudieron lograr los objetivos propuestos y además se crearon las instancias para la gestión de nuevas iniciativas complementarias para la subsistencia del SEPOR, tales como un programa de la CNR complementario al SEPOR ‘Programa de Transferencia Tecnológica en Programación del Riego VI y VII regiones’ (SEPOR 2), el cual se ejecutó entre los años

2009 y primer semestre de 2010, un proyecto FONDEF enviado al concurso regular 2009 y un proyecto INNOVA adjudicado (inicio ejecución estimada: agosto 2010). No obstante lo anterior, se sugiere la creación de nuevos instrumentos de subsidio o apoyo a iniciativas similares, para que cada OUA genere su propio departamento de asesoría al riego, como lo que actualmente se desarrolla en países como Estados Unidos y México, donde los productores reciben apoyos del gobierno para operar las redes. Iniciativas como esta permitirán en el mediano plazo, potenciar la actividad agrícola, mejorando la eficiencia agronómica del riego, disminuyendo impactos tales como la sostenida disminución de agua que registra el país.