



INFORME TÉCNICO Y DIFUSIÓN FINAL
Modelación de Sistema de Agricultura de Precisión
EST-2009-0666

15 de Julio de 2011

Contenido

1. Antecedentes Generales	3
2. Resumen Ejecutivo	4
3. Marco de la Innovación implementada.....	5
4. Objetivos	6
5. Método Utilizado	7
6. Los Resultados	9
a. Descripción	9
b. Tabla comparativa	11
7. Problemas enfrentados y medidas correctivas	13
8. Temas por Resolver	14
9. Conclusiones	15
10. Recomendaciones.....	16
11. Apéndices – Anexos.....	17

1. Antecedentes Generales

Nombre Ejecutor: INIA La Platina
Página web del ejecutor: www.inia.cl
Correo Electrónico del ejecutor: aantunezb@inia.cl
Teléfonos del ejecutor: (2) 7575450
Nombre(s) de los Asociado(s): -----
Coordinador del Proyecto: Alejandro Antúnez Barría
Correo Electrónico del Coordinador del Proyecto: aantunezb@inia.cl
Región(es) de ejecución: Arica y Parinacota
Comunas: Arica
Fecha de inicio iniciativa: 1 de Enero de 2010
Fecha término Iniciativa: 30 de Junio de 2011

2. Resumen Ejecutivo de todo el período del proyecto

Aunque un gran número de agricultores de los Valles de Azapa y Lluta utiliza sistemas presurizados, el manejo del riego generalmente no involucra una adecuada programación que incluya frecuencia, volúmenes de agua a aplicar y tiempos de riego. Los criterios de riego empleados responden a un conocimiento empírico o bien a información de carácter genérico, desarrollados por asistentes, agricultores y técnicos. El uso ineficiente del agua se relaciona en esta área, con la falta de un sistema de programación de riego en los principales cultivos de la zona, que determina un incremento sustancial de los costos de producción, poniendo en riesgo la rentabilidad del sector agrícola de la Región.

El estudio desarrolló de información local para el manejo del riego en rubros hortícolas en los Valles de Lluta y Azapa, basado en la información generada en estaciones meteorológicas y bandejas de evaporación. Los objetivos específicos del estudio fueron:

- Establecer un sistema de programación de riego, a partir de la información de estaciones meteorológicas y de mediciones de la bandeja de evaporación.
- Proponer pautas de riego para los principales cultivos de la zona.
- Validar los programas de riego propuestos, difundiendo los resultados del proyecto entre los beneficiarios del proyecto.

A partir de este estudio, se definieron parámetros básicos para ser empleados en el modelamiento de un sistema de agricultura de precisión, optimizando la respuesta productiva de los cultivos de la zona al riego. La problemática planteada se abordó utilizando la información que generada a partir de estaciones meteorológicas (EMAS) y de registros de bandejas de evaporación implementadas en el proyecto. Con respecto a la difusión del proyecto, se realizaron días de campo, talleres, cursos y cartillas divulgativas, en las temáticas abordadas en el proyecto.

3. Marco de la Innovación implementada

Previo al desarrollo de este proyecto, no existían parámetros locales para la programación del riego en cultivos de relevancia económica en los valles de Azapa y Lluta. Esta situación reduce el rendimiento de los cultivos, con una baja eficiencia del recurso hídrico, con negativas repercusiones ambientales y económicas.

En el marco del proyecto, INIA implementó tecnología para la programación del riego en los cultivos, que permiten al agricultor identificar los puntos críticos del manejo del agua en la producción agrícola.

Mediante el uso de la información generada por las EMA's y bandejas de evaporación se obtuvieron parámetros locales que permitieron definir pautas de programación de riego para los principales cultivos de los valles de la región, que satisficieron adecuadamente la demanda evapotranspirativa de cada cultivos.

La formulación de pautas de riego, incluyó la caracterización de cada sistema de riego, determinando la intensidad de precipitación y eficiencia del sistema de riego utilizado. Otro aspecto relevante, fue la determinación de los requerimientos de lixiviación de los suelos de cada predio en estudio.

Finalmente, la programación de riego fue complementada por el monitoreo del contenido de agua en el suelo por medio de sondas de capacitancia, a distintas profundidades en cada cultivo, asegurando la disponibilidad de agua para los cultivos.

4. Objetivos

Objetivo General	
Generar parámetros locales para el mejoramiento de la programación del riego en cultivos de relevancia económica en los valles de Lluta y Azapa.	
Nº	Objetivos específicos
1	Establecer un sistema de programación de riego, a partir de la información de estaciones meteorológicas y de mediciones de la bandeja de evaporación.
2	Proponer pautas de riego para los principales cultivos de la zona.
3	Validar los programas de riego propuestos, difundiendo los resultados del proyecto entre los beneficiarios del proyecto.

5. Método Utilizado

Etapa 1.- Recolección de datos meteorológicos y establecimiento de método de bandeja de evaporación.

Se integró la información generada por las EMAs ubicadas en el área agrícola de los respectivos valles, calculándose la ETo por medio de la metodología FAO 56 Penman Monteith, empleando los registros meteorológicos en forma diaria. Se seleccionaron tres productores proclives a introducir cambios en el manejo del riego, en el área de influencia de las EMAs que desarrollan los principales rubros de los valles de Azapa y Lluta. Adicionalmente, se seleccionaron tres productores de los cultivos principales de los valles mencionados, en cuyos predios se instaló un Evaporímetro de Bandeja Tipo A. Los productores seleccionados fueron capacitados en el manejo y registro diario de la información de la bandeja de evaporación.

Etapa 2.- Establecimiento de método de Programación mediante fórmulas empíricas.

El modelo conceptual fue desarrollado a partir del balance hídrico del suelo, que se basa en la estimación de las pérdidas de agua del cultivo y los aportes de agua del suelo. El modelo propuesto puede desarrollarse a partir de información meteorológica en tiempo real o considerando datos históricos disponibles (climáticos). El primero permite establecer programas de riego de acuerdo a las condiciones meteorológicas de la temporada y el segundo, predecir los requerimientos de riego a partir del clima de la zona. El modelo se empleó para estimar las necesidades netas de riego, la reserva de agua del suelo y la frecuencia y tiempos de riego.

Para el cálculo de las necesidades netas de riego se determinó:

a) Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

En cada sector de trabajo, la ETo se obtuvo a partir de las estaciones agrometeorológicas de la red del proyecto, calculada a partir de la ecuación de FAO 56 Penman Monteith.

Adicionalmente, mediante un evaporímetro de bandeja se registró la evaporación de bandeja (EB), que multiplicada por el coeficiente de bandeja (Kb), determina también la ETo. Esta metodología se plantea como un método alternativo y más intuitivo para el seguimiento de los requerimientos hídricos de las plantas, a aplicar por parte de los agricultores.

b) Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La ETc corresponde al consumo de agua de un cultivo, en óptimo estado sanitario, sin restricciones hídricas y con un manejo estándar para la zona. Se obtiene corrigiendo la ETo por el coeficiente de cultivo.

El coeficiente de cultivo depende de la especie vegetal y de su período de desarrollo, el que se obtuvo a partir de una base de datos, asociada al modelo.

c) Precipitación efectiva

Al no registrarse precipitaciones en el área de cultivo, no se consideró esta variable.

Reserva de agua del suelo

La reserva de agua del suelo, disponible para las plantas, está determinada, por un lado, por las características físicas del suelo, tales como textura, densidad aparente y pedregosidad. Estas propiedades determinan la cantidad total de agua retenida por un suelo dado.

Frecuencia y tiempos de riego

La frecuencia de riego se obtiene de una confrontación a escala diaria de la ETc del cultivo y de las reservas de agua del suelo. El tiempo de riego de la intensidad de precipitación de los equipos, la ETc del cultivo y la reserva de agua del suelo. La metodología fue validada en terreno, en cultivos cercanos a estaciones meteorológicas automáticas.

La validación consistió en asociar a la aplicación del modelo un sistema de control, basado principalmente en el seguimiento del contenido de agua del suelo. Este proceso de validación permitió realizar las correcciones del modelo de acuerdo a condiciones locales y así definir su adaptabilidad. Se emplearon sondas del tipo FDR, para evaluar el contenido de humedad del suelo. Además se cotejó la programación con el seguimiento de la lixiviación en lisímetros para evaluar los requerimientos hídricos de las plantas. Esta etapa tuvo una duración de 18 meses.

Etapas 3.- Transferencia y difusión de resultados.

- Talleres de capacitación: Se realizaron dos talleres de capacitación dirigidos a profesionales y técnicos ligados a la asistencia técnica en los valles de Azapa y Lluta en programación de riego.
- Días de campo: Se realizaron 4 días de campo dirigidos a agricultores y agricultoras de la región.
- Elaboración de material escrito: se elaboraron 4 cartillas divulgativas en temas estrechamente relacionados con el proyecto.
- Reuniones técnicas: se realizaron 2 reuniones en total, una por valle, para presentar y discutir los resultados técnicos derivados del proyecto.

6. Los Resultados

a. Descripción

1a.- Identificación de productores en rubros destacados en la zona.

Se identificaron productores destacados en cada rubro de interés y establecieron módulos establecidos en rubros hortícolas de importancia en la zona.

1b.- Integración a la red estaciones meteorológicas (EMAS).

La información meteorológica local estuvo disponible en tiempo real, con registros agrometeorológicos diarios para los valles de Azapa y Lluta.

1c.- Implementación de Bandeja de evaporación en módulos identificados.

Se instalaron bandejas de evaporación para la implementación de módulos demostrativos en predios identificados. Instrumento operando normalmente con registros diarios de EB.

2a.-Determinación de las necesidades netas de riego, por medio de Bandeja de evaporación y EMAS.

Se estimaron las necesidades netas de riego para los cultivos de interés. Se obtuvo una tabla con la lámina neta requerida para cada cultivo de interés y cada localidad en estudio.

2b.-Determinación de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo por medio las constantes físico-hídricas del suelo.

Se analizaron los suelos de cada módulo, para determinar la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente determinada en cada suelo

2c.- Pautas de riego para los cultivos que determinen tiempo y frecuencia de riego.

Se determinaron pautas de riego para los cultivos estudiados.

2d.- Validación de la programación del riego a partir de información meteorológica y evaporación de bandeja.

Se validaron en campo, las pautas de riego (tiempos y frecuencia) propuestas para cada módulo de riego seleccionados.

3a- Talleres de Capacitación

Se realizaron dos talleres de capacitación dirigidos a profesionales y técnicos ligados a la asistencia técnica en los valles de Azapa y Lluta en programación de riego.

3b.-Días de campo

Se realizaron cuatro días de campo dirigidos a agricultores y agricultoras de la región.

3c.- Cartillas Divulgativas

Se editaron e imprimieron cuatro cartillas divulgativas en programación de riego.

3d.- Reuniones técnicas

Se realizaron dos reuniones técnicas, una por valle, en programación de riego.

3e.- Informes de Avance Técnico y Financiero

Se entregó un Informe semestral aprobado por los mandantes, que dió cuenta de los avances del proyecto Informe impreso

3f.- Informe Final

Se entregó un informe final para la aprobación de los mandantes que resuma las actividades realizadas y los logros alcanzados.

b. Tabla comparativa

Resultado Esperado	Meta Proyecto	Valor Obtenido
Productores identificados en los principales rubros hortícolas.	Productores identificados en cada rubro	5 productores en rubros de pimiento, tomate, maíz dulce, poroto verde y cebolla.
Vinculación con las EMAs.	Información meteorológica local disponible en tiempo real.	Reportes diarios con la evapotranspiración del cultivo de referencia, durante el período de desarrollo del estudio, para las zonas donde se establecieron los ensayos.
Registros de evaporación de bandeja en módulos demostrativos.	Bandejas de evaporación instaladas para la implementación de módulos demostrativos en predios identificado.	3 bandejas de evaporación instaladas, con reportes diarios de evaporación de bandeja, durante el período de desarrollo del estudio.
Necesidades netas de riego determinadas para los cultivos de interés.	Estimación de necesidades netas de riego determinadas para los cultivos de interés.	Necesidades netas calculadas en forma diaria, para cada módulo de interés, a partir de la ET_0 y el K_c
Constantes físico-hídricas determinadas en cada cada suelo	Capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente determinada en cada suelo	Análisis físico-hídrico realizado en cada módulo de interés.
Pautas de riego	Pautas de riego determinadas para los cultivos estudiados.	Frecuencia y tiempo obtenido en cada módulo y cultivo, para cumplir con los requerimientos de evapotranspiración de cada cultivo.
Validación de pautas de riego validados en cada módulo.	Pautas de riego validados en campo, en los módulos de riego	Validación, desarrollada en cada módulo, a partir del seguimiento del agua

	seleccionados.	en el suelo y la evaluación del rendimiento de cada cultivo.
Talleres de capacitación dirigidos a profesionales y técnicos ligados a la asistencia técnica en los valles de Azapa y Lluta en programación de riego.	Dos talleres de capacitación.	Dos talleres de capacitación realizados en cada Valle, que capacitaron a los asistentes en programación de riego en condiciones de salinidad.
Días de campo.	Cuatro días de campo	Cuatro días de campo realizados dirigidos a agricultores y agricultoras de la región.
Cartillas divulgativas	Cuatro cartillas divulgativas en programación de riego.	Cuatro cartillas divulgativas impresas en programación de riego.
Reuniones técnicas, una por valle	Dos reuniones técnicas, en programación de riego.	Dos reuniones técnicas, una por valle, en programación de riego.
Informe semestral	Un Informe semestral aprobado por los mandantes, que dé cuenta de los avances del proyecto.	Un Informe semestral aprobado por los mandantes, que dió cuenta de los avances del proyecto.
Informe final	Un informe final aprobado por los mandantes que resuma las actividades realizadas y los logros alcanzados.	Un informe final entregado para revisión y aprobación por parte de los mandantes

7. Problemas enfrentados y medidas correctivas

Uno de los problemas enfrentados fue el desfase entre el inicio formal de actividades, la firma del Convenio INIA-FIA, y el traspaso de recursos financieros.

Al estar directamente relacionado el proyecto con el manejo del riego del resto del predio surgen las siguientes problemáticas:

- Independizar el sistema de riego del predio en una superficie menor para la validación de las pautas de riego es en general compleja, por la disposición del diseño hidráulico existente en terreno.
- La disponibilidad de agua en el predio condiciona frecuentemente problemas de coordinación entre la frecuencia de riego propuesta y la empleada por el agricultor.
- Al proponer pautas de riego diferentes a las utilizadas por el agricultor, existe siempre el temor del agricultor de que la propuesta vaya en detrimento de su producción. No obstante, en cada uno de los ensayos realizados el rendimiento del cultivo fue mayor o igual a lo obtenido por el agricultor.

8. Temas por Resolver

Debido a la corta duración de este proyecto, sus resultados tienen una validez limitada, al considerar la variabilidad meteorológica y la alta rotación de cultivo que se desarrolla en los Valles.

Por otro lado, en las principales zonas regadas del mundo desarrollado en que se desarrolla la actividad hortícola con la intensidad e impacto económico semejante a la de los Valles de Azapa y Lluta, el monitoreo constante de las necesidades hídricas de los cultivos, es un servicio disponible para el productor. De esta forma, a partir de la integración con las EMAS, se ofrecen servicios que con la ayuda de tecnologías de comunicación, transmiten a los productores las recomendaciones de cada temporada. El servicio incluye actividades de capacitación, asesoría técnica en mantención y diseño de sistemas de riego y el seguimiento y monitoreo de las necesidades de riego en cada cultivo y zona agrometeorológica.

Por lo anterior, basado en los resultados del proyecto, resulta fundamental que la Región consolide un Servicio de Programación de Riego, que apoye en forma permanente al agricultor, reconociendo la importancia del agua en la agricultura local y su influencia en el desarrollo agrícola de la zona.

9. Conclusiones

A partir del uso de información meteorológica de estaciones automatizadas y del registro de bandejas de evaporación, se estimó adecuadamente la evapotranspiración de referencia, determinando las necesidades netas de riego.

De esta forma, se definió la programación de riego para cada cultivo en estudio, a partir de información meteorológica o del evaporímetro de bandeja, un K_c medio mensual y la precipitación del equipo de riego. Se utilizó alta frecuencia de riego con riegos diarios y fertirrigación incorporada. Para complementar la recomendación de riego, se determinó durante todo el ciclo de cultivo el contenido de agua en el suelo, por medio de sondas de capacitancia, ubicadas a distintas profundidades.

En términos productivos, las pautas de riego definidas a partir de la metodología implementada por INIA Ururi, tuvo buenos resultados evidenciada en rendimientos comerciales semejantes o superiores a los obtenidos por los propios agricultores.

En difusión, el proyecto concitó alto interés, especialmente reflejada en la asistencia a los cursos de capacitación, que se ofrecieron en el marco del proyecto.

10. Recomendaciones

El proyecto Modelación de Sistemas de Agricultura de Precisión financiado por FIC GORE de Arica y Parinacota, ejecutado por INIA Ururi entre enero de 2010 y junio de 2011, validó una metodología de programación de riego para los principales cultivos hortícolas de la zona: tomate, poroto verde, cebolla, maíz choclero y pimiento.

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto, se verifica que los productores de tomate y pimiento no manejan criterios de programación de riego adecuados, lo que impacta la producción y calidad de los cultivos. Se propone que se estudie el desarrollo de un Servicio de Programación de Riego en la Región, que oriente permanentemente a los productores, asesores y servicios públicos relacionados con el riego, en la toma de decisiones. Lo anterior, considerando que la Región de Arica y Parinacota tiene una zona hortícola de con alto impacto en la economía regional, donde el manejo óptimo del recurso hídrico es esencial para la sustentabilidad de la economía regional.

11. Apéndices – Anexos

Anexos

- Anexo 1:
Listado de asistentes jornadas de transferencias o capacitaciones del proyecto

- Anexo 2:
Presentaciones o exposiciones

- Anexo 3:
Resumen de Resultados de investigaciones, estudios o análisis de muestra

- Anexo 4:
Otros antecedentes: Cartillas divulgativas del proyecto

- Anexo 5:
Fotografías de las actividades realizadas (sólo en formato digital).