

INFORME FINAL TÉCNICO Y DE DIFUSIÓN

FIA PYT-2009-0259

OFICINA DE PARTES 2 FIA
RECEPCIONADO
Fecha 30 MAR 2012
Hora 10⁵⁸
Nº Ingreso 1245

Antecedentes Generales

Código: PTY-2009-0259

Nombre del Proyecto: Técnicas de inteligencia artificial para el uso eficiente del agua y fertilizantes en plantaciones de arándanos utilizando redes de sensores inalámbricos.

Región o Regiones de Ejecución: Región del Biobío

Agente Ejecutor: Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Agentes Asociados: Berries del Bío Bío S.A., Sociedad Agrícola C y L Ltda., Agrícola Las Murtillas de Quinchamalí y Facultad de Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción.

Coordinador del Proyecto: Carlos Marcelo Hernández Ulloa

Costo Total Programado:

Costo Total Real:

Aporte del FIA Programado en Pesos:

Aporte del FIA Programado en Porcentaje:

Aporte del FIA Real en Pesos:

Aporte del FIA Real en Porcentaje:

Período de Ejecución Programado: Desde 1 de Mayo de 2009 al 30 de Abril de 2011

Período de Ejecución Real: Desde 1 de Mayo de 2009 a 30 de Marzo de 2012

Resumen Ejecutivo

Los principales resultados del proyecto son:

1. Una metodología para riego basado en un enfoque reactivo de Inteligencia Artificial.
2. Una plataforma tecnológica a nivel de prototipo para aplicar la metodología.

Nuestros resultados experimentales muestran que en los huertos asociados con la metodología y plataforma tecnológica desarrolladas, las plantas de arándanos se mantienen en buenas condiciones ahorrando entre un 36% y 52% de agua respecto al riego por goteo programado con una metodología tradicional y ejecutado por un programador automático. Por otro lado, en experimentos realizados en nuestro ensayo de plantación las plantas mantienen sus buenas condiciones logrando un ahorro de hasta un 41% de agua.

El prototipo de plataforma tecnológica se puede implementar con distintos grados de sofisticación. El más sofisticado incluye la red inalámbrica nodos de sensado de humedad de suelo, un módulo central de terreno para recibir la lectura de los nodos y controlar las válvulas, conexión a internet, una base de datos remota e interfaz web. El menos sofisticado no incluye internet, la base de datos y la interfaz web, y usa un módulo central adaptado como interfaz para el agricultor. A diferencia del programador automático que riega siguiendo un programa fijo en un período de tiempo, la metodología desarrollada, que se puede ejecutar con las diferentes configuraciones de la plataforma tecnológica, riega de manera automática adaptándose a las condiciones ambientales a partir de la información obtenida por una red inalámbrica de mini-estaciones (nodos) de sensado de humedad de suelo y las preferencias del agricultor.

La plataforma y metodología son herramientas de gestión para el manejo del agua. Estas tienen las propiedades fundamentales para que los pequeños y medianos propietarios de predios agrícolas manejen de manera más eficiente sus recursos y se vuelvan más competitivos.

Los resultados de este proyecto de I + D y los del proyecto complementario "Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259" que se adjunta, nos permiten concluir que existe potencial para generar un negocio y productos comerciales a un precio al alcance de pequeños y medianos agricultores.

Informe técnico

En este informe pretendemos exponer de manera clara los resultados finales del proyecto. Los resultados parciales han sido descritos en los informes de avance 1, 2 y 3.

Consideramos que este es un proyecto de investigación y desarrollo cuyos productos son prototipos. De acuerdo a conversaciones con nuestro coordinador de proyecto en FIA, las siguientes etapas, como por ejemplo, la creación e implementación de un plan de negocio y el desarrollo de productos comerciales escapan del ámbito de este proyecto. Los fondos para desarrollar esto último deben ser obtenidos desde otras fuentes. Esto es parte de nuestro trabajo futuro.

El documento lo componen las secciones indicadas en el Instructivo de Informe Final Técnico y de Difusión.

1. Objetivos del Proyecto

A continuación se expondrá el objetivo general y los objetivos específicos de la propuesta inicial. Bajo la exposición de cada objetivo, se describirá lo realizado en función de los resultados e impactos obtenidos.

Objetivo General

Inicial

Crear un sistema para controlar de manera eficiente la irrigación y fertilización en plantaciones de arándanos, basado en técnicas de inteligencia artificial, a partir de las mediciones en el suelo, el ambiente y las plantas, hechas por una red de sensores inalámbricos en la plantación y fuente de agua. El sistema incluye una interfaz para la interacción y monitoreo remoto. Se espera disminuir costes y mejorar la producción, como consecuencia del buen uso del agua y los fertilizantes. Se pretende que las plantas reciban sólo lo necesario para su favorable desarrollo.

Lo realizado

- Se creó un prototipo de plataforma tecnológica para controlar de manera eficiente la irrigación. La plataforma consta de 2 partes principales, el software y el hardware que se explican en detalle en la sección 4. Esta cuenta con distintos grados de sofisticación. La más sofisticada incluye la red inalámbrica nodos de sensado de humedad de suelo, un módulo central de terreno para recibir la lectura de los nodos y controlar las válvulas, conexión a internet, una base de datos remota e interfaz web. La menos sofisticada no incluye internet, la base de datos y la interfaz web, y usa un módulo central adaptado como interfaz para el agricultor.
- Se creó una metodología para realizar un uso racional del agua en riego por goteo. Esta riega de manera automática adaptándose a las condiciones ambientales a partir de la información obtenida por una red inalámbrica de mini-estaciones (nodos) de sensado de humedad de suelo y las preferencias del agricultor.
- Nuestros resultados experimentales muestran que en los huertos asociados con la plataforma tecnológica y metodología desarrolladas las plantas de arándanos se

mantienen en buenas condiciones ahorrando hasta un 52% de agua respecto al riego por goteo programado con una metodología tradicional y ejecutado por un programador automático. Por otro lado, en nuestro ensayo de plantación las plantas mantienen sus buenas condiciones logrando un ahorro de hasta un 41% de agua.

- Después de realizar un estudio del estado del arte de los sistemas de fertilización automático, decidimos enfocar nuestra investigación en la automatización de la irrigación porque estos métodos están avanzados en el mercado nacional. Lo hecho en fertilización corresponde al ingreso y edición de datos de programación de la fertilización a través la interfaz web.

Objetivo específico 1

Inicial

Diseñar la arquitectura del sistema, considerando riego por goteo.

Lo realizado

La arquitectura fue diseñada. Esta se puede ver en la sección 4.

Objetivo específico 2

Inicial

Desarrollar un software de simulación básico de una plantación de arándanos, incluyendo sensores y riego simulado para implementar y evaluar técnicas inteligentes de planificación y aprendizaje para el riego.

Lo realizado

Dado el curso de la investigación en el proyecto. En lugar de implementar el simulador, se realizaron experimentos no simulados.

Objetivo específico 3

Inicial

Establecer un ensayo de plantación de arándanos en edad productiva para la investigación. Incluye instalar: sistema de riego, red de sensores, sistema de fertilización y la interfaz para la interacción con el software de planificación, aprendizaje y monitoreo, para implementar y evaluar técnicas inteligentes en el ensayo de plantación.

Lo realizado

Se estableció la plantación, y se instaló la plataforma tecnológica y la metodología mencionada en lo realizado en el objetivo general.

Objetivo específico 4

Inicial

Desarrollar un prototipo de todos los sistemas.

Lo realizado

Se crearon los prototipos.

Objetivo específico 5

Inicial

Implementación y prueba del prototipo en una plantación comercial de arándanos.

Lo realizado

Se implementaron y probaron los prototipos.

2. Metodología del Proyecto

Tal como se mencionó en los informes avance, se aplicó la metodología expuesta en la propuesta original. La idea principal de la metodología es mejorar y validar repetidamente los prototipos hasta alcanzar un rendimiento aceptable.

En general la metodología usada fue más en base a experimentos [1] que orientada a una metodología iterativa incremental [2]. Dada la naturaleza del trabajo, la metodología iterativa incremental fue seguida principalmente por el equipo de desarrollo de software, y la basada en experimentos por el equipo de electrónica y el equipo de agronomía.

Es importante mencionar que el equipo agronómico trabajo mano a mano con los otros equipos en el desarrollo de la plataforma tecnológica porque fue necesario ir validando los incrementos, resultados y prototipos parciales.

A continuación se expone la metodología de manera similar a como fue expuesta en la propuesta original.

Metodología usada

Se realizó la investigación y desarrollo siguiendo una metodología iterativa incremental y en base a experimentos.

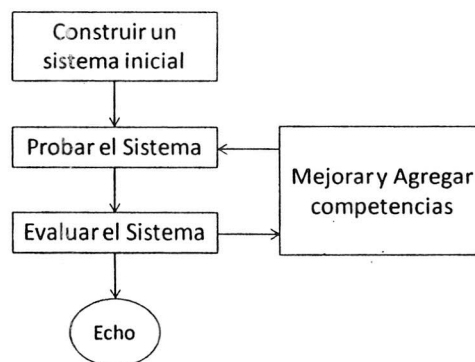


Figura 1. Modelo de desarrollo basado en experimentos.

En la Figura 1 se puede apreciar un esquema del modelo de desarrollo en base a experimentos. En este esquema se construye un sistema inicial que se prueba y evalúa, agregando y mejorando sus competencias, hasta obtener un resultado aceptable.

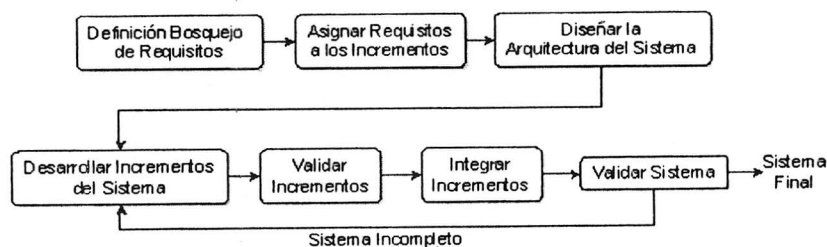


Figura 2. Modelo de desarrollo iterativo incremental.

En la Figura 2 se puede apreciar un esquema del modelo de desarrollo iterativo incremental. Este esquema reduce la repetición del trabajo en el proceso de desarrollo y permite retrasar la toma de decisiones en algunos requisitos hasta adquirir experiencia con el sistema.

Al comienzo del proyecto teníamos clara la idea general, pero no sabíamos cómo abordarla exactamente. La colaboración con el investigador en riego del INIA Raúl Ferreyra a partir de nuestro encuentro en el VI Congreso internacional de ingeniería agrícola realizado en Enero del 2010 en Chillán, fue clave para acotar los requisitos de nuestro trabajo y enfocar el desarrollo de la plataforma tecnológica y metodología de riego.

Con los requisitos acotados, procedimos trabajar sobre estos siguiendo la metodología.

El trabajo se dividió en estos equipos:

Electrónica. Los integrantes de este equipo se encargaron de construir los prototipos para la red de sensores. Los prototipos construidos fueron con cable e inalámbricos. Además se encargaron del diseño y construcción de los nodos de sensado, la estación central de percepción del sensado y el control automático de válvulas. Por otro lado diseñaron, experimentaron y crearon prototipos de sensores de humedad de suelo de bajo costo (Una mayor cantidad de información se puede ver en la sección 4).

Desarrollo de Software. Los integrantes de este equipo se encargaron del desarrollo de todo el software del proyecto. Este consistió básicamente en la programación de una base datos, la interfaz web, las interfaces con los dispositivos electrónicos y metodología de riego autónomo.

Agronomía. Los integrantes de este equipo trabajaron principalmente en la validación de la tecnología creada por los otros. Además se encargaron de establecer y mantener el ensayo de plantación (junto al equipo de electrónica), establecer las variables relevantes para el riego inteligente, e implementar el prototipo en el ensayo de plantación y la plantación comercial.

3. Actividades del Proyecto

La carta Gantt original se puede apreciar en la Figura 3. Le fecha de comienzo propuesta fue el 01/04/2009. El mes 1 corresponde a Mayo, el mes 2 a Junio y así sucesivamente. El detalle de cada etapa se puede ver en el formulario de la propuesta original.

Carta Gantt	Mes																																				
Propuesta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Etapa 1																																					
Etapa 2																																					
Etapa 3																																					
Etapa 4																																					
Etapa 5																																					

Figura 3. Carta Gantt propuesta original.

La carta Gantt real se puede apreciar en la Figura 4. Le fecha de comienzo real definida por FIA fue el 01/05/2009. El proyecto comienza en el mes 2 respecto a la propuesta original.

Carta Gantt	Mes																																				
Real	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Etapa 1																																					
Etapa 3																																					
Etapa 4																																					
Etapa 5																																					

Figura 4. Carta Gantt real.

Si se compran las figuras se pueden apreciar diferencias. Las diferencias y sus causas se explican a continuación.

1. La etapa 2 corresponde a la creación del simulador sencillo. Como se explicó en la sección 1, dado el curso que siguió el trabajo de investigación en el proyecto, en lugar de implementar el simulador se realizaron experimentos no simulados. Por tanto, la etapa 2 no está en la Figura 4.
2. Durante la ejecución del proyecto hubo varios retrasos por motivos de fuerza mayor que se comunicaron en los informes de avance. Los principales son:
 - El primer aporte FIA fue recibido en Agosto del 2009. Por tanto, el proyecto tiene un retraso inicial de 3 meses.
 - Abandono del proyecto del Ingeniero Programador por problemas familiares en Noviembre del 2009.
 - El terremoto de Febrero del 2010 en la zona.
 - Licencia del investigador y encargado del equipo de electrónica Alejandro Alejo desde el 9 de Abril al 14 de Junio del 2010 debida a una intervención médica mayor.

- Licencia del investigador y encargado del equipo de electrónica Alejandro Alejo durante 2 meses el primer semestre del 2011, debida a intervenciones médicas y reposo. Esto no ha sido comunicado en los informes de avance.
3. El proyecto tuvo un hito importante que nos llevo a redirigir nuestra investigación. Este hito fue la colaboración con el investigador en riego del INIA Raúl Ferreyra a partir de nuestro encuentro en el VI Congreso internacional de ingeniería agrícola realizado en Enero del 2010 (mes 10 en la Figura 4) en Chillán. Después de este primer contacto, el visito nuestra Universidad por días en Abril del 2010 (mes 13 en la Figura 4). Este contacto nos permitió enfocarnos en sensores de humedad suelo, que tienen una excelente razón costo/calidad de la información, y cambiar el enfoque deliberativo de la Inteligencia Artificial que pensábamos aplicar (planificación y aprendizaje) por un enfoque reactivo [3]. Nuestra hipótesis de trabajo es que es posible realizar un riego eficiente autónomo usando un enfoque reactivo. En la sección 4 se explica la metodología en detalle y se muestran los resultados obtenidos.
 4. Los retrasos expuestos en el punto 2 y el hito expuesto en el punto 3, explican porque la etapa de diseño (Etapa1 de la Figura 4) se desarrollo durante los meses 2 al 15 y se realiza en paralelo con la Etapa 3 (establecimiento, instalaciones y experimentos) durante los meses 3 al 15.
El desarrollo incremental de los prototipos (Etapa 4) comenzó el mes 12 y se realizó en paralelo con la parte experimental de la Etapa 3 durante los meses 12 al 28. Durante la temporada de riego 2010-2011 pudimos probar que el sistema efectivamente podía monitorear a través de internet. Por estos vemos actividad en los meses 22, 23 y 24 de la Etapa 5 que corresponde a la prueba de los prototipos.
 5. Tanto en desarrollo de los prototipos hardware como software, el tiempo usado en experimentación y mejora de estos fue mayor que el esperado. Gracias a las extensiones que solicitamos y nos fueron concedidas, pudimos probar en la temporada de riego 2011-2012 (meses 34, 35 y 36) que nuestro sistema autónomo reactivo riega ahorrando agua y manteniendo las plantas en buenas condiciones.
 6. El tiempo usado en experimentación y mejora de los prototipos hardware y software fue mayor al esperado por las siguientes razones:
 - El tiempo usado en la iteración entre diseño de un circuito integrado, la compra de los componentes (muchos en EEUU) y luego la evaluación del funcionamiento, puede ser largo porque alguno de los componentes comprados no funciona exactamente como se desea y puede ser necesario comprar nuevos componentes o rediseñar el circuito.
 - Una vez diseñado y probado el circuito, hay que imprimirlo. Esto típicamente se hace en algunas empresas de Santiago.

- A medida que se crea el hardware hay que ir ajustando el software a la medida. Algunas modificaciones pueden ser menores, pero otras pueden ser de un orden algo mayor.
- El estado de salud del investigador encargado del equipo electrónica (punto 1). Esto no fue previsto en formulación de la propuesta.

4. Resultados del Proyecto

Los resultados del proyecto lo componen un prototipo de plataforma tecnológica para controlar de manera eficiente la irrigación, y una metodología para realizar un uso racional del agua en riego por goteo. La plataforma consta de 2 partes principales, el software y el hardware. La metodología se basa en principios teóricos de riego y el concepto de agente reactivo [3], y usa la plataforma tecnológica para su ejecución. A continuación se presenta el prototipo de plataforma tecnológica y luego la metodología de riego.

Plataforma tecnológica

El esquema general de la plataforma tecnológica (también llamado producto RG1) es el siguiente:

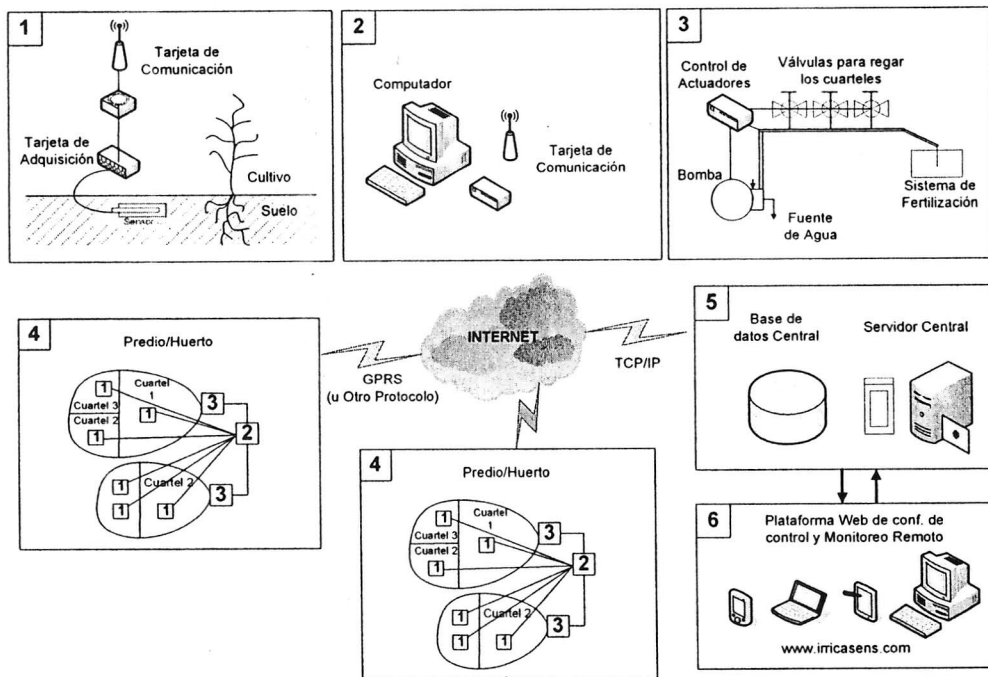


Figura 5. Modelo general de la plataforma para el riego y monitoreo. Componente 1: Nodo de medición, Componente 2: Nodo central, Componente 3: Nodo de actuadores, Componente 4: Layout del sistema en el huerto y resultado de la localización de los nodos de medición, Componente 5: Servidor Central, Componente 6: Plataforma web de configuración de control y monitoreo remoto.

Forma de operar del sistema en el huerto

En el huerto se instalan los nodos de medición y un nodo central que es el encargado de controlar el sistema de riego del predio, adquirir los datos de estos y enviarlos a un sistema que está alojado en un Servidor central a través de internet, utilizando para esto la red de celulares (GPRS) u otro protocolo.

En el Servidor central se almacenan los datos recibidos desde los huertos en terreno que se encuentren en funcionamiento, la adquisición es de manera periódica en una base de datos (MySQL). Los datos van desde mediciones de sensores hasta el estado de los equipos (batería, funcionamiento, etc.).

A continuación se detallan los componentes del Modelo general de la Figura 5:

Componente 1: Nodo de medición

Sensor

Instrumento para medir la humedad del suelo. Cuantifica la humedad de suelo para conocer el estado hídrico de las plantas. En el sistema se pueden usar distintos tipos de sensores de humedad de suelo. Los utilizados en nuestros experimentos fueron sensores de mercado y sensores de fabricación propia. Usamos distintos sensores del mercado pero nos quedamos con los más baratos porque trabajan bien. Un conjunto de sensores de fabricación propia se puede apreciar en la Figura 6.

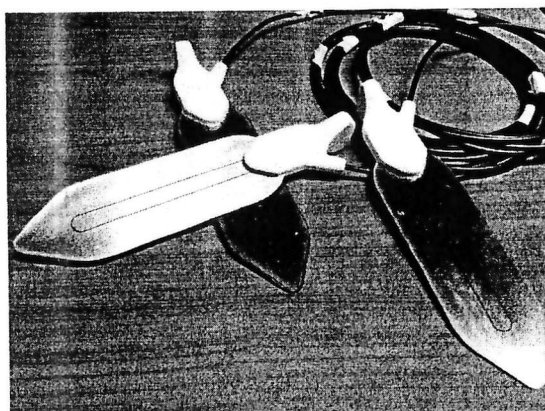


Figura 6. Sensores de humedad de suelo fabricados en el proyecto

Más información sobre la construcción del sensor se puede encontrar en los documentos anexos "INFORME EQUIPO ELECTRÓNICA 1" e "INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003".

Tarjeta de adquisición de datos y Tarjeta de comunicación de datos.

La tarjeta de adquisición de datos es un microcontrolador que permite conectar sensores. Además comunica la medida de los sensores a la tarjeta de comunicación. Está ubicado en el huerto. La tarjeta de comunicación de datos es un instrumento que permite transmitir de manera inalámbrica la información que le entrega la tarjeta de adquisición. Existen dos tipos

de tarjeta, las ubicadas en los diferentes lugares del predio y otra ubicada en una caseta control de riego.

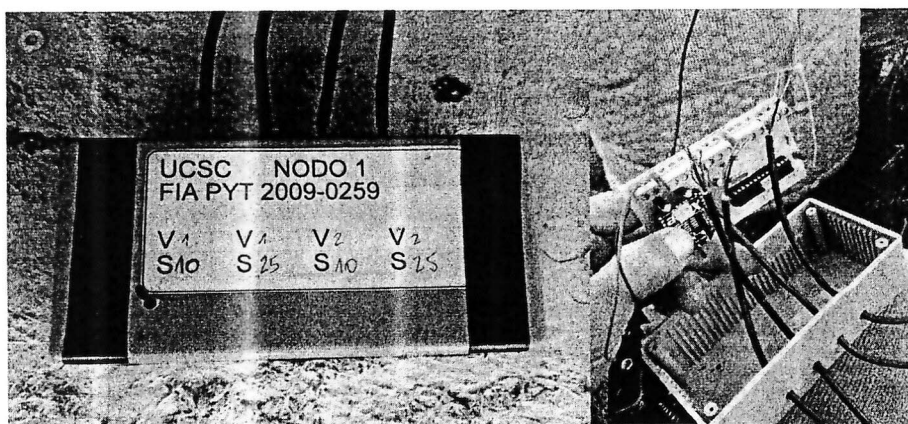


Figura 7. Uno de los prototipos de nodo para la adquisición y comunicación de datos

En la Figura 7 se puede ver uno de los prototipos de nodo que integra una tarjeta adquisición de datos y una de comunicaciones. En este caso la tarjeta de comunicaciones es ZigBee. Más información sobre los dispositivos de adquisición y comunicaciones construidos en el proyecto se puede encontrar en los documentos anexos "INFORME EQUIPO ELECTRÓNICA 2", "INFORME EQUIPO ELECTRÓNICA 3" e "INFORME DE DISEÑO 1".

Componente 2: Nodo central

Está compuesto por un servidor en el huerto y una tarjeta de comunicación. Esta tarjeta recibe los datos de los nodos de medición y los transmite al servidor en el huerto. Este servidor contiene los siguientes elementos:

- Base de datos que almacena
 - Datos de los nodos
 - Configuración de los riegos
 - Configuración de las cuentas/usuarios
 - Datos generales del huerto
 - Datos de funcionamiento de los equipos de riego
 - Configuración de la fertilización
- Programa residente de riego que puede funcionar en forma
 - Automática tipo programador de riego convencional
 - Automática usando la medida de los sensores de humedad de suelo
- Programa de consistencia de la Base de Datos
- Módulo de comunicación (GPRS u otro protocolo)
- Monitoreo local del sistema de riego

El sistema ubicado en el servidor del huerto permite actuar sobre las bombas y válvulas de riego. Se han usado computadores normales en este componente y también se han

desarrollado prototipos más sencillos como se explicará más adelante. Para ver información del software desarrollado ver los documentos anexos "INFORME EQUIPO INFORMATICA 1" e "INFORME EQUIPO INFORMATICA 2".

Componente 3: Nodo de actuadores

Los actuadores son las válvulas de riego y bombas que se controlan desde el nodo central.

Componente 4: Layout del sistema en el huerto y resultado de la localización de los nodos de medición de humedad.

Este diagrama muestra el resultado de la integración de los componentes 1, 2 y 3 del Modelo general. La distribución de los componentes 1 en esta figura es el resultado de la localización de nodos de medición conseguida que constituye la red de sensores inalámbricos. La fuente de alimentación eléctrica de los nodos de medición son baterías y/o paneles solares (ver "INFORME EQUIPO ELECTRÓNICA 1" e "INFORME DISEÑO 1"). La red de sensores en el huerto, comunica sus datos al nodo central, de manera inalámbrica. En este se almacena la información que posteriormente se envía mediante un protocolo GPRS u otro al servidor central (Figura 5. componente 5) quien retorna la información para que actúen los actuadores. El componente 2 señalado en esta figura representa al Nodo central del modelo general. El componente 3 en esta figura representa los diversos posibles Nodos de Actuadores existentes en un huerto.

Componente 5: Servidor Central

El servidor está compuesto por un sistema de gestión de base de datos, en el que se almacenan datos de usuarios, configuraciones de riego, datos de sensores y en general toda la información con respecto a la administración y sensado de los huertos en terreno. Además posee un sistema para registrar y programar fertilizaciones (Ver Manual 1, Manual 2, Manual 3 y Tesis 1). Este componente hace de puente entre los Servidores en los Huertos (Figura 5. componente 2) y el la Plataforma web de configuración de control y monitoreo remoto (Figura 5. componente 6). Es el encargado de enviar y recibir información desde éstos a través de Internet.

Descripción del Servidor Central:

Base de Datos:

El sistema de gestión de base de datos es MySQL contiene la siguiente información:

- Datos de sensores en terreno y equipos:
- Valores de distintos sensores de humedad.
- Consumo de agua (Tiempo de válvula abierta)
- Energía eléctrica (KWH)
- Estado baterías dispositivos
- Información y estado de los equipos
- Alertas
- Log de sucesos y actividades de usuarios.

- Planes de riego
- Sistemas de gestión de usuarios

Componente 6: Plataforma web de configuración de control y monitoreo remoto

El servidor web tendrá alojada la página central de monitoreo y control de los huertos. Este será el dominio www.irrigasens.com. En esta página los distintos propietarios de los huertos, los encargados de éstos y los administradores tendrán acceso a una interfaz para visualizar los datos. La Plataforma web permite a diferentes usuarios acceder a la información disponible en la base de datos y realizar consultas y modificaciones.

Funcionalidades de la plataforma web (Para más información ver Manual 1, Manual 2, Manual 3 y Tesis 1).

Configuración y control y monitoreo

- a) Monitoreo de estado hídrico de riego y sensado
- b) Monitoreo de consumo de agua y energía
- d) Ingreso de información de fertilización
- e) Configuración de huertos (bombas y válvulas).
- f) Configuración del programa de riego
 - Automática (Tiempo y frecuencia de riego predefinido)
 - Inteligente (Tiempo definido por el agricultor y frecuencia condicionada a lectura de sensores)
- h) Editar parámetros del huerto
- i) Administración de usuarios

Plataforma tecnológica Alternativa

A partir de la plataforma tecnológica general, que fue la propuesta en el proyecto original a FIA, hemos desarrollado una plataforma de menos complejidad. Esta está orientada a pequeños agricultores. No hay conexión a Internet y el nodo central se ha simplificado. Para mantener la consistencia con el documento que sea anexa "INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003. Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259" denominaremos a este producto como RGC. Conceptualmente este producto sólo usaría los componentes 1, 2 y 3 del esquema general. En la Figura 8 se puede ver un esquema del producto. Con este producto se obtienen datos a partir de los sensores de humedad de suelo, estos datos van a un nodo central y el nodo central controla las válvulas y bombas. En la Figura 9 se puede apreciar una representación de la implementación de RGC en un huerto pequeño con 5 cuarteles de riego. Con RGC el agricultor sólo tendrá que definir el tiempo de riego y el umbral de riego (esta variable permite activar el riego dependiendo de la medida de los sensores. Este es el enfoque reactivo de Inteligencia Artificial). Para más detalle ver sección 3 del "INFORME TÉCNICO AGRONÓMICO" que se anexa. El nodo central es sencillo. En la Figura 10 se ve un prototipo de nodo central construido. El costo del prototipo de nodo central fue de alrededor de \$150.000 más \$65.000 por punto de sensado con comunicación inalámbrica.

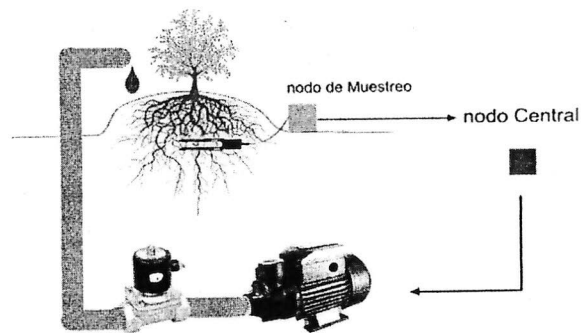


Figura 8. Producto RGC.

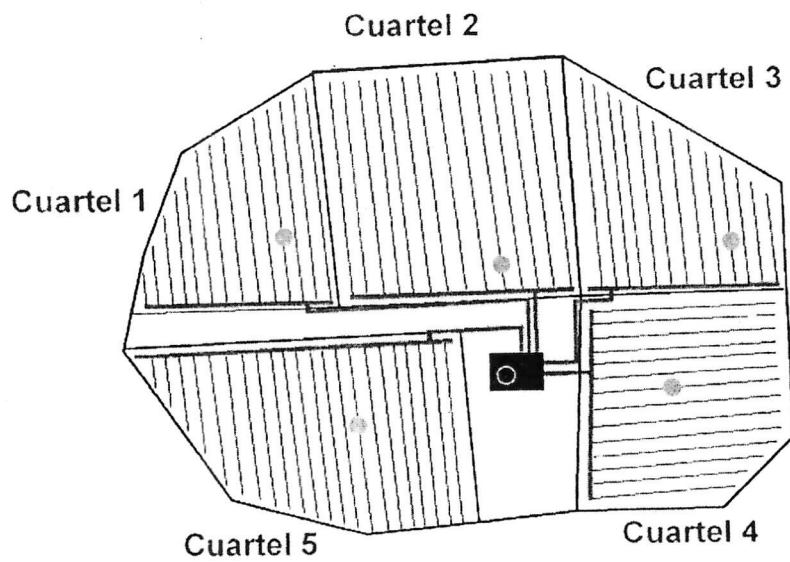


Figura 9. Aplicación del producto RGC en un huerto pequeño. El nodo central se idéntica con un punto rojo. Este se ubica dentro de la caseta de control de válvulas y bombas. Los puntos amarillos corresponden a nodos de sensado de humedad de suelo.

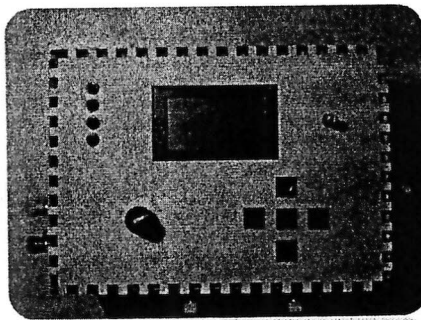


Figura 10. Prototipo de nodo central RGC.

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre los resultados esperados y los alcanzados. Además, cuando existen, se explican las discrepancias entre estos.

Cuadro comparativo entre los resultados esperados y lo realizado.

N°	Nombre	Indicador de Cumplimiento	Estado actual de Cumplimiento
1	Diseño Global.	Documentos de diseño.	Realizados. Ver este documento y los anexos que se referencian.
2	Diseño de red de sensores.	Documentos de diseño.	Realizados. Ver este documento y los anexos que se referencian.
3	Diseño sw de Monitoreo.	Documentos de diseño.	Realizados. Ver este documento y los anexos que se referencian.
4	Diseño arquitectura del sw inteligente.	Documentos de diseño.	Realizados. Ver este documento y los anexos que se referencian. Es importante mencionar que el diseño corresponde a la metodología de riego autónomo construida.
5	Diseño del control de riego por goteo.	Documentos de diseño.	Se implementó el riego por goteo en nuestro ensayo de plantación.
6	Diseño sistema sistema de fertilización.	Documentos de diseño.	Como se explicó anteriormente el enfoque del proyecto fue la irrigación. No la fertilización.
7	Simulador.	Software de simulación básico.	No se realizó porque los experimentos fueron realizados en el ensayo o huertos asociados.
8	Mejora del diseño con el simulador.	Documentos de diseño.	No se realizó porque los experimentos fueron realizados en el ensayo o huertos asociados.
9	Evaluación de configuraciones y técnicas inteligentes en el simulador.	Resultados experimentales en software de simulación básico.	No se realizó porque los experimentos fueron realizados en el ensayo o huertos asociados.
10	Establecimiento de la plantación de investigación.	Plantación establecida.	Hecho
11	Software de monitoreo.	Software de monitoreo de	Realizado. Ver este

		variables relevantes de la plantación.	documento y los anexos que se referencian. Nos enfocamos en sensores de humedad de suelo.
12	Software inteligente de planificación y aprendizaje.	Software de planificación generando planes de riego y software de aprendizaje funcionando	En lugar de aplicar inteligencia artificial deliberativa (planificación + aprendizaje) se uso un enfoque reactivo. Esto debido al cambio de enfoque que tuvo nuestro trabajo como se explica en el punto 3 de la sección 3. El sw de riego con enfoque reactivo fue creado y funciona como se puede apreciar en este documento y los anexos que se referencian.
13	Mejora del diseño de los distintos sistemas.	Documentos de diseño mejorados.	Realizado. Ver este documento y los anexos que se referencian.
14	Análisis experimental de técnicas inteligentes en la plantación de investigación.	Resultados experimentales en plantación de investigación.	Realizado. Ver este documento y los anexos que se referencian.
15	Prototipo de todos los sistemas.	Prototipo funcionando.	Realizado. Ver este documento y los anexos que se referencian.
16	Instalación en plantación comercial.	Prototipo instalado. Experimentos con el prototipo en la plantación comercial.	Realizado. Ver este documento y los anexos que se referencian.
17	Interfaz de los sistemas.	Manuales de usuario y de agricultor interactuando adecuadamente con el sistema.	Realizado. Ver este documento y los anexos que se referencian y los anexos MANUAL 1, MANUAL 2 y MANUAL 3.
18	Riego y fertilización.	Comparación de rendimiento con y sin el sistema.	Se hizo con el riego. Ver este documento y los anexos que se referencian.
19	Costes y producción.	Comparación de coste y producción con y sin el sistema.	Se hizo una comparación de ahorro de agua. Para analizar variables de producción sería necesario realizar experimentos en varias

			temporadas de riego. En nuestro trabajo nos centramos en la construcción de la plataforma y metodologías que de ahora en adelante nos permitirán evaluaciones en producción.
--	--	--	--

Los resultados de aplicar un enfoque reactivo de Inteligencia Artificial (sistema reactivo por demanda), se pueden ver en el “INFORME TÉCNICO AGRONÓMICO” que se adjunta. Se presentan resultados para el producto RGC. Los resultados que se obtendrían aplicando la plataforma completa serían los mismos porque sólo se agregar más componentes (Figura 5. componente 5 y 6) y se usa la misma metodología.

5. Fichas técnicas y análisis económicos

La información para este punto se puede leer en secciones II y III del anexo “INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003. Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259”. Este corresponde al resultado de un proyecto complementario que se realizó durante la ejecución del proyecto que se termina. Como complemento, se puede ver las fichas técnicas y análisis económicos de la “TESIS 2” que se anexa.

6. Impactos y logros del proyecto

La naturaleza de proyecto es Investigación y Desarrollo. Los objetivos se han logrado como se expuso en la sección. Los impactos dependen de la naturaleza y los objetivos del proyecto.

Impactos Productivos, Económicos y Comerciales.

Al inicio del proyecto no hay impactos. Existen impactos esperados que se pueden ver en el anexo “INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003. Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259”.

Impactos sociales.

Al inicio del proyecto no hay impactos. Dada la naturaleza del proyecto esperamos que una vez que se pase a la etapa de negocio y se generen productos comerciales de costo razonable, ayude a los productores pequeños y medianos a manejar de manera más eficiente sus recursos y mejorar su competitividad. Por otro lado, como se expuso en la

propuesta original, se espera una disminución de trabajo y ahorro en coste para el agricultor en la administración de personal debido a la automatización.

Impactos tecnológicos.

Se han generado los productos que se explican en la sección de resultados de este informe y que también están detallados en el anexo "INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003. Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259".

Nuestro próximo paso es realizar un estudio de propiedad intelectual y protegerlos. En la sección III del anexo "INFORME FINAL CONSULTORÍAS ESPECIALIZADAS COC-2011-003. Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259" se puede apreciar un pre-estudio de propiedad intelectual.

En el impacto científico logrado fue la creación de una red de investigación. La red con que colaboramos está compuesta por científicos del INIA, La Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción y en Centro de Aguas para la Agricultura de la Universidad de Concepción. Una vez realizada la protección intelectual, pretendemos publicar resultados en revistas científicas.

Se realizaron 3 tesis de pregrado, el detalle de cada una es el siguiente:

- *Desarrollo de un Interfaz de Monitoreo y Planificación de Riego.* Informe de Proyecto de Título para Optar al Título de Ingeniero Civil Informático. Estudiante Yasna Gutierrez Neira. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- *Plan de Negocios y Estudio de Pre-factibilidad Técnico-Económico para la Comercialización de Sistemas de Control de Riego por Medio de Dispositivos de Sensado.* Proyecto de Título para Optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Estudiante Julio Héctor Neira Faúndez. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- *Diseño Conceptual Basado en la Gestión de Calidad para un Sistema de Regadío por Goteo en Plantaciones de Arándanos Utilizando Redes de Sensores Inalámbricos.* Proyecto de Título para Optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Estudiante Cawha Daniel Wang Araneda. Universidad Católica de la Santísima Concepción.

7. Problemas enfrentados durante el proyecto

Los problemas enfrentados durante el proyecto son los descritos en la sección 3 de este informe. El efecto de los problemas fue el retraso en la creación del prototipo maduro de la plataforma y debido a esto se hubo un retraso en obtener evidencia experimental. La medida tomada fue solicitar más tiempo para la ejecución del proyecto.

Otro problema que se tuvo fue no contar con recursos para hacer difusión. Fue un error no contemplarlo en la propuesta original. De todas maneras se realizó difusión por prensa y se realizó un acto de lanzamiento con recursos propios de la UCSC como se indica en el informe de difusión.

8. Otros aspectos de interés

9. Conclusiones y recomendaciones

Se ha creado una plataforma tecnológica prototipo que puede implementarse con distintos grados de sofisticación y una metodología para riego basada en un enfoque reactivo de Inteligencia Artificial bajo una perspectiva teórica agronómica.

Los resultados experimentales muestran que se han logrado ahorros de agua importantes, tanto en los huertos asociados como en el ensayo de plantación, manteniendo las plantas de arándanos en buenas condiciones.

La plataforma y metodología son herramientas de gestión para el manejo del agua. Estimamos que estas ayudarán a los pequeños y medianos propietarios de predios agrícolas a manejar de manera eficiente sus recursos y como consecuencia de esto lograr una mejor participación en el mercado.

Los resultados de este proyecto de I + D y los del proyecto complementario "Negocio y diseño para los productos del proyecto FIA PYT-2009-0259" que se adjunta, nos permiten concluir que existe potencial para generar un negocio y productos comerciales a un precio al alcance de pequeños y medianos agricultores.

Un problema importante fue el retraso en la creación del prototipo maduro de la plataforma y como efecto de esto se generó un retraso en obtener evidencia experimental. La medida tomada para remediar esta situación fue solicitar más tiempo para la ejecución del proyecto.

Una recomendación para el desarrollo de dispositivos electrónicos de carácter profesional (que incluya diseño industrial) a nivel país es implementar un centro de I + D que permita construir prototipos profesionales baratos de manera rápida. En Chile y especialmente en regiones conseguir insumos y fabricar dispositivos electrónicos es lento, porque existen pocos centros para hacerlo y casi todos están en Santiago. Un ejemplo de este tipo de centro es el Instituto de Manufactura de Precisión del Sur de China¹.

¹ <http://www.scpm.org.cn/en/introduce.html?introID=21321&titlename=Introduction>

Informe de difusión

Durante el proyecto se realizaron las siguientes actividades de difusión. Se anexa el contenido de cada una en el Anexo "DIFUSION".

- Reportaje en la Revista Bits de Ciencia, Sección Sistemas Inteligentes. Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Primer Semestre del 2011. Pag. 58 y 59. En este reportaje se explica el proyecto y se menciona a FIA.
- Nota de prensa en el Portal Web Universidad Católica de la Santísima Concepción. 23 de Marzo 2012.
- Acto de lanzamiento del proyecto en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. 27 de Marzo 2012.
- Nota de prensa en el Portal Web de FIA. 27 de Marzo 2012.
- Nota de Prensa diario el Sur de Concepción. 28 de Marzo 2012.
- Se está preparando una nota de prensa para Portal Web Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Se está preparando una nota de prensa para la Revista el Campo.

Referencias

- [1] Arkin R., Behavior-Based Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents). MIT Press, 1998.
- [2] Mills, H., O'Neill, D., The Management of Software Engineering, IBM Systems, 1980.
- [3] Russell S. and Norvig P., Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Edition). Prentice Hall. 2010.

Anexos

Ver documento "ANEXOS".