

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación y Extensión  
Programa de Regionalización

Diseño y valoración de un sistema de automatización de bajo costo mediante internet, para riego de precisión en agricultura protegida en sustrato, para productores de la provincia de Cartago.

Informe Final de Proyecto de Extensión

Documento 2

Milton Solórzano Quintana  
(Coordinador, ITCR)  
Maria Gabriela Brenes Marín.  
(Escuela Juan Ramírez Ramírez)  
Guillermo Guillén Sánchez.  
(MAG-Corralillo)

Junio, 2022

**Contenido**

1. Resumen general del proyecto .....	3
2. Palabras clave y key words .....	3
3. Avance en el logro de los objetivos y actividades .....	4
4. Ejecución presupuestaria.....	7
5. Plan de difusión.....	7
6. Participación estudiantil .....	8
7. Limitaciones y problemas encontrados .....	8
8. Observaciones generales y recomendaciones .....	9

## **1. Resumen general del proyecto**

A partir de elementos electrónicos disponibles en el mercado a bajo costo, se diseñó y construyó un sistema que permite la automatización remota de riego en función de la humedad disponible en el medio de cultivo, mediante la calibración de sensores de datos de humedad con las curvas de correlación de humedad en función del potencial mátrico o presión de succión expresado como el logaritmo de base 10 de una columna de agua en cm ( $pF=1=10\text{cm}$  columna de agua) obtenidas en laboratorio en sustrato de fibra de coco y carbón. El procedimiento se aplicó a otros dos sustratos con mejores resultados de calibración. El sistema diseñado permite la transmisión inalámbrica mediante red wifi de los datos a un dispositivo receptor que a su vez transmite por línea telefónica a una aplicación en la nube que los recopila y comunica a la interfaz de una aplicación en un dispositivo móvil, en tiempo real, en intervalos de tiempo definidos. El sistema se validó en los ambientes protegidos de la Escuela Juan Ramírez Ramírez, de Tobosi del Guarco en Cartago. Ante el repentino e inesperado cierre de las transferencias y la devolución de los saldos sin ejecutar de los proyectos de FITTACORI, por dirección del MAG, no fue posible adquirir los materiales necesarios para replicar los prototipos, ni la realización de las actividades de extensión planificadas.

## **2. Palabras clave y key words**

Riego – Automatización – Sustratos – Ambientes protegidos – sensores eléctricos – transmisión inalámbrica.

Irrigation – Automation – Substrates – Greenhouses – Electrical sensing - Wireless transmission.

### 3. Avance en el logro de los objetivos y actividades

CUADRO No. 1.

#### AVANCE EN EL LOGRO DE OBJETIVOS Y ACTIVIDADES

<b>Propósito:</b> Desarrollar sistemas de automatización en riego de bajo costo para satisfacer las necesidades hídricas de cultivos producidos en sustrato, con alta precisión y con capacidad de transmitir la información generada en tiempo real.				
<b>Componentes</b>	<b>Productos</b>	<b>Actividades</b>	<b>% de logro</b>	<b>Comentarios</b>
1. Determinar la capacidad de retención de humedad del sustrato en estudio.	Contenidos de humedad a diferentes presiones de succión para el sustrato de mayor uso en la zona del proyecto (-10, -32.5, -50, -67.5 y -100 cm.c.a.)	<p>Selección de sustratos</p> <p>Determinación en laboratorio de las propiedades físicas y las relaciones agua-aire de los sustratos seleccionados.</p> <p>Curvas de correlación de los datos obtenidos en laboratorio para cada sustrato, con las mediciones realizadas por los sensores para establecer una escala real para las condiciones de retención de humedad del sustrato.</p>	100%	Inicialmente se definió hacerlo para 4 sustratos de uso común en la zona del proyecto. Se alcanzaron valores para 3 sustratos, uno de ellos (fibra de coco con carbón) el de uso más común en la zona. Los otros dos de Tierra Blanca y Alajuela, por disponibilidad de los mismos.

Componentes	Productos	Actividades	% de logro	Comentarios
<p>2. Construir dispositivos de medición del porcentaje de humedad en sustratos, calibrarlos con alta precisión según los valores de retención de humedad obtenidos en el laboratorio, y programarlos para el envío de la información obtenida en tiempo real, a bajo costo.</p>	<p>Dispositivos para la medición de valores de humedad volumétrica y envío de información, con componentes electrónicos de bajo costo disponibles en el mercado.</p>	<p>Diseño y construcción de un sistema para la comunicación de datos desde los sensores de humedad ubicados en el cultivo a un receptor, de forma inalámbrica, para controlar el inicio del riego de manera automática o semi manual.</p>	100%	<p>En el primer año se construyó un prototipo inicial, que posteriormente fue perfeccionado con nuevos elementos y pruebas en el segundo año.</p>
	<p>Calibración de los valores de humedad volumétrica de los dispositivos desarrollados según los valores obtenidos en laboratorio.</p>	<p>Lecturas de la disminución del contenido hídrico volumétrico en sustratos en el tiempo con el prototipo realizado en cada sustrato.</p> <p>Obtención la ecuación de correlación del contenido de humedad en función de la lectura del prototipo.</p>	66%	<p>Se pudo obtener la ecuación de correlación para dos de los tres sustratos estudiados. El sustrato de fibra de coco y piedra pómez, no permitió establecer la correlación entre los valores de humedad y lecturas, debido al tipo y tamaño de partículas.</p>
	<p>Sistema para la adquisición, monitoreo y envío de información en tiempo real.</p>	<p>Diseño de la diagramación del sistema.</p> <p>Definición de materiales requeridos para la construcción de transmisión y recepción de datos.</p> <p>Construcción de los prototipos de transmisión y recepción de datos.</p>	100%	<p>El diseño incluye sensores, conjunto de dispositivos para la recolección y envío de datos por red wifi, así como el conjunto de recepción de los datos, para su transmisión vía red telefónica.</p>

<b>Componentes</b>	<b>Productos</b>	<b>Actividades</b>	<b>% de logro</b>	<b>Comentarios</b>
3. Validar los dispositivos obtenidos en las condiciones del medio protegido en la Escuela Juan Ramírez Ramírez (Tobosi, El Guarco)	Programación de software libre disponible en la nube para captar el envío de información recolectada en el sitio en tiempo real, y presentar los valores en una interfaz que incluya alertas que permitan la toma de decisiones inmediata para la aplicación de riego, en la Escuela Juan Ramírez Ramírez.	Definición de aplicación para la programación del sistema. Programación de la recepción de la información recolectada por sensores en campo. Programación para acumulación de datos por un tiempo límite de 30 días. Programación para envío de información a interfaz de recepción telefónica.	75%	Se concluyó la programación de la página web que recibe la información desde los dispositivos de prueba localizados en la Escuela Juan Ramírez Ramírez de Tobosi. La programación de la interfaz para presentación de valores y alertas no se concluyó, por el cierre de los proyectos por parte de FITTACORI en setiembre del 2021.
4. Divulgar la información generada mediante mecanismos que le permitan al técnico y al productor conocer, manejar y aplicar los conocimientos logrando con ello, mejorar su eficiencia y manejo de la tecnología	Dos actividades de divulgación en campo. Publicación de 3 materiales divulgativos para productores y técnicos, sobre los dispositivos desarrollados, y sus posibles usos.	No se realizó ninguna de las actividades de divulgación.	0%	Los recursos para este componente no fueron girados, debido al cierre de transferencias y saldos en presupuestos a los proyectos en acato a la dirección establecida por el MAG en setiembre del 2021.

#### 4. Ejecución presupuestaria

El presupuesto al 15 de setiembre de 2021, fecha en que los fondos fueron congelados para la devolución de los saldos sin ejecutar a los fondos públicos del MAG, era el siguiente:

Descripción	Presupuesto	Modificaciones	Movimientos	Saldo
<b>F08-19 AUTOMATIZACION RIEGO AP</b>				
1.03.03 IMPRESION, ENCUADERNACION Y OTRO	400 000,00	0,00	0,00	400 000,00
1.07.01 ACTIVIDADES DE CAPACITACION	500 000,00	0,00	0,00	500 000,00
2.01.99 OTROS PRODUCTOS QUIMICOS	300 000,00	-300 000,00	0,00	0,00
2.02.02 PRODUCTOS AGROFORESTALES	150 000,00	-150 000,00	0,00	0,00
2.03.03 MADERA Y SUS DERIVADOS	150 000,00	-150 000,00	0,00	0,00
2.03.04 MAT. Y PRD. ELECTRICOS, TELEFONICOS	500 000,00	700 000,00	-962 233,47	237 766,53
2.04.01 HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS	350 000,00	0,00	-350 000,00	0,00
2.99.01 UTILES Y MAT. DE OFICINA Y COMPU	100 000,00	-100 000,00	0,00	0,00
5.01.06 EQUIPO DE LABORATORIO E IN	550 000,00	0,00	-299 900,00	250 100,00
<b>TOTALES:</b>	<b>3 000 000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>-1 612 133,47</b>	<b>1 387 866,53</b>

Las modificaciones presupuestarias muestran que se tuvo que tomar de las partidas destinadas a apoyo a la producción para la adquisición de los materiales y productos electrónicos necesarios para la construcción de los sensores y dispositivos de transmisión y recepción de datos, lo cual representó un 54% del presupuesto total. Este fue el porcentaje de ejecución total del proyecto. Había destinado un 30% del presupuesto para las actividades de difusión (900,000 colones), que no pudieron ser ejecutados, las compras también quedaron inconclusas, por lo que se considera que de haberse concluido el proyecto la ejecución hubiese superado el 90%.

#### 5. Plan de difusión

Ninguna de las actividades para la difusión de los resultados del proyecto se pudo llevar a cabo. La ejecución de al menos dos días de campo y la publicación de un tríptico impreso, mediante las agencias de extensión agrícola inicialmente del MAG de Corralillo y eventualmente en todas las regiones del país, dependía del presupuesto asignado para ese fin por parte de la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI), sin embargo, mediante oficios DM-MAG-890-2021 y FITTACORI 128-2021 (Ver anexos 1 y 2) del 15 de setiembre del 2021, se giró la directriz desde el despacho del ministro para el cierre de las transferencias y la devolución de los saldos sin ejecutar de los proyectos de FITTACORI, lo que impidió dar seguimiento al componente de difusión del proyecto.

### Trabajo Final de Graduación:

Cornejo-Corrales, M. Desarrollo de un equipo de bajo costo con capacidades IoT para la gestión eficiente del agua de riego mediante el uso de microcontroladores y sensores de humedad de código abierto en dos sustratos orgánicos inertes. Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

## **6. Participación estudiantil**

### Asistentes del proyecto en I y II semestre 2021:

- Luis Carlos Villalobos Avellán (9 horas/semana asistente de investigador consolidado)
- Armando Andrés Uribe Castro (9 horas/semana asistente de investigador consolidado)
- Alejandro Tapia Álvarez (2 horas/semana asistente de investigador consolidado)

## **7. Limitaciones y problemas encontrados**

1. Cierre de instituciones debido a la emergencia nacional por el COVID-19: A raíz de la Directriz Presidencial N° 073-S-MTSS, el 09 de marzo del 2020, se dieron inmediatas reacciones por parte de las instituciones involucradas en el proyecto, suspendiéndose todo tipo de actividades en el TEC Costa Rica desde el 16 de marzo del 2020, al igual que en la escuela Juan Ramírez Ramírez hasta febrero del 2021, para un posterior cierre de mayo hasta julio del mismo año, lo cual significó que el desarrollo de los dispositivos tuvo que realizarse sin pruebas simultáneas en el sitio, por lo que las pruebas se realizaron hasta la apertura de la escuela.
2. Limitaciones en adquisición de equipos: La disposición de elementos electrónicos en el mercado nacional, así como su importación, se vio fuertemente limitada debido a la emergencia sanitaria por el COVID-19, hasta el tercer semestre del año 2020, lo que provocó no sólo el retraso en la construcción de los dispositivos, sino el encarecimiento exponencial de los costos de los materiales por su disposición limitada e importación.
3. Limitaciones para la validación de los sistemas: La situación de emergencia nacional imposibilitó la validación de los dispositivos construidos en el área de producción en ambientes protegidos de la escuela Juan Ramírez Ramírez, durante el año 2020, (de ahí la necesidad de ampliar el proyecto al año 2021). Las pruebas en sustrato de fibra de coco y carbón, por el tipo y sobre todo tamaño de partículas representaron un fuerte obstáculo para la definición de niveles de humedad del medio de cultivo que sirviera como límite mínimo para inicio de riego. Después de variadas pruebas se definió una combinación entre conjunto de valores y percepción de la encargada de los cultivos para definir un valor razonable para alerta de riego.

4. Programación de aplicación para captura y presentación de datos: El proceso de definir la aplicación para su programación para inicio, almacenamiento, presentación y despliegue de una alerta para riego, requirió la prueba de diferentes opciones que lograban el cumplimiento parcial de lo que se pretendía con la programación, hasta encontrar la opción que se ajustó a los requerimientos del diseño. El retraso en la definición de programación, significó que no se pudiera diseñar la interfaz de alerta.
5. Cierre presupuestario del proyecto: Los oficios DM-MAG-890-2021 y FITTACORI 128-2021 (Ver anexos 1 y 2) del 15 de setiembre del 2021, establecieron el cierre de las transferencias y la devolución de los saldos sin ejecutar de los proyectos FITTACORI, lo cual, truncó el proceso de validación del prototipo y posterior construcción de los dispositivos finales, así como la divulgación del proceso entre los potenciales usuarios mediante los días de campo y la información impresa programada.

## **8. Observaciones generales y recomendaciones**

1. Es posible construir con elementos electrónicos disponibles a bajo costo en el mercado local, un sistema que permite la medición con sensores de datos de humedad (y otras variables, según el sensor seleccionado), en un medio de producción, así como la transmisión inalámbrica mediante red wifi de estos datos a un dispositivo receptor que a su vez transmita por línea telefónica a una aplicación en la nube que recopile los datos y por el mismo medio transmita a la interfaz de una aplicación en un dispositivo móvil, los datos obtenidos en tiempo real, en intervalos de tiempos definidos.
2. Debido a la capacidad de medición de los sensores seleccionados en medios con partículas muy grandes y formas indeterminadas que crean una porosidad muy grande, es recomendable el estudio de este sistema en cultivos en suelo o bien en sustratos con espacio poroso que permitan valores de contenido de humedad medibles para los sensores disponibles en el mercado.
3. Debido al impedimento para medir los valores de humedad del sustrato característico (fibra de coco y carbón) con los sensores propuestos, se recomienda realizar investigaciones que permitan automatizar el riego de este tipo de sustratos en función de variables meteorológicas dentro del medio protegido que permitan establecer de manera indirecta las condiciones de humedad del sustrato para que en función de dichas condiciones se establezcan valores mínimos de humedad y correspondiente arranque del sistema de automatización.
4. Existen en el mercado muchas opciones de sensores, equipos y dispositivos electrónicos para alcanzar diversos objetivos de automatización remota, de diversas procedencias, calidad y precios. Ante una oferta tan amplia, se hace necesario hacer una investigación previa de las opciones que sean accesibles al presupuesto con el que se cuente para la producción de este

tipo de sistemas, principalmente por la experiencia de usuarios disponible en la red, para garantizar la calidad, durabilidad, así como el mantenimiento y reposición de los componentes que garanticen la sostenibilidad de este tipo de proyectos en función de la productividad de los cultivos a los que se asocie en el tiempo.

5. Existen en la nube muchas aplicaciones para programación, algunas de fácil codificación debido a los elementos básicos que se requiere del lenguaje que usan, sin embargo, para garantizar la agilidad necesaria en función de los resultados que se desean obtener, es necesaria la asesoría de una persona especializada en programación de sistemas.
6. La pandemia significó un serio obstáculo para las labores de difusión del conocimiento en el sector de producción agrícola. Si bien, durante ese período, se demostró la existencia de gran cantidad de opciones para educación a distancia, existen actividades que, por la magnitud de las variables involucradas, así como del conocimiento base de los usuarios, requieren de la presencialidad para realizar una adecuada extensión. En el caso particular de la automatización remota, se involucran una serie de conceptos y elementos desconocidos para la mayoría de los posibles usuarios, que requieren del contacto con los sistemas y sus dispositivos para generar confianza en los mismos, así como el acompañamiento inicial al implementar proyectos de este tipo.