

Modelo de enseñanza para adopción de tecnología de automatización en sistemas irrigados para pequeños agricultores

Teaching model for adoption of automation technology in irrigated systems for small farmers

Héctor Tangarife-Escobar¹
Sebastián Pedraza-Tunjo²
Camila Cárdenas-Miranda³

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia). Correo electrónico: hitangarife@misena.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9416-385X>

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia).
Correo electrónico: spedrazat@correo.udistrital.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7597-7383>

³ Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia).
Correo electrónico: mccardenasm@correo.udistrital.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0332-0881>

Recibido: 15-06-2021 Aceptado: 15-09-2021

Cómo citar: Tangarife-Escobar, Héctor; Pedraza-Tunjo, Sebastián; Cárdenas-Miranda, Camila (2021). Modelo de enseñanza para adopción de tecnología de automatización en sistemas irrigados para pequeños agricultores. *Informador Técnico*, 86(1), 3 - 17.
<https://doi.org/10.23850/22565035.3718>

Resumen

El presente estudio pretende mostrar un modelo de adopción tecnológica intuitiva para el manejo operativo de sistemas irrigados autónomos, dirigido a agricultores. En general, con la migración de personas del campo a la ciudad, se presenta una disminución significativa de la mano de obra, circunstancias que demandan mejorar los rendimientos de los procesos, sin embargo, una de las principales problemáticas está relacionada con la baja adopción de tecnología, dada por la oposición que ejerce el agricultor al cambio, esto es, respecto a las formas convencionales de realizar las actividades agrícolas. Es así como esta iniciativa pretende optimizar el trabajo agrícola al incentivar al agricultor en la apropiación y el uso de la tecnología. El estudio se desarrolló por parte del Centro de Biotecnología Agropecuaria (CBA) del SENA. Se realizó una revisión del estado del arte para evaluar de manera detallada los antecedentes asociados con la apropiación de la tecnología en el área agropecuaria. Posteriormente, se diseñó una interfaz gráfica sobre una pantalla táctil que se controla mediante la programación de un controlador lógico programable (PLC) y, finalmente, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento en campo con posibles agricultores que desconocen las nuevas tecnologías para la agricultura. A partir del estudio, se obtuvo que el modelo facilita la forma de aprendizaje y entendimiento de la tecnología de los sistemas irrigados. En un 89 % de aceptación los agricultores reconocen que los sistemas de irrigación automáticos facilitan las tareas y disminuyen los tiempos sobre el cultivo, promoviendo de manera progresiva la confianza del agricultor de base en los sistemas de riego con diferentes grados de autonomía. El modelo de enseñanza facilita los primeros pasos en el uso de tecnología y apropiación de esta, lo que demuestra ser un aporte significativo en las labores agrícolas.

Palabras clave: adopción de tecnología; automatización agrícola; controlador lógico programable; irrigación; HMI; modelo de enseñanza; transferencia tecnológica.

Abstract

This study aims to show an intuitive technology adoption model for the operational management of automated irrigated systems aimed at farmers. In general, with the migration of people from the countryside to the city, there is a significant decrease in the workforce, circumstances that demand to improve the performance of the processes, however, one of the main problems is related to the low adoption of given technology due to the opposition exercised by the farmer to change, that is, with respect to conventional ways of carrying out agricultural activities, this is how the study aims to optimize agricultural work by encouraging the farmer to appropriate and use technology. The study was developed by the Center for Agricultural Biotechnology (CBA) of SENA. A review of the state of the art is carried out to evaluate in a detailed way the antecedents associated with the appropriation of technology in the agricultural area, later a graphic interface design is made on a touch screen that is controlled by means of the programming of a programmable logic controller (PLC) and finally, performance tests are carried out in the field with potential farmers who are unaware of the new technologies for agriculture. From the study it is obtained that the model facilitates the way of learning and understanding of the technology of the irrigated systems by the farmer, progressively promotes the confidence of the base farmer in the irrigation systems with different degrees of autonomy. The teaching model facilitates the first steps in the use of technology and its appropriation, which proves to be a significant contribution to agricultural work.

Keywords: technology adoption; agricultural automation; programmable logic controller; irrigation; HMI; teaching model; technology transfer.

1. Introducción

Una de las actividades más comunes que se realiza en el sector agrícola, a campo abierto y bajo invernadero, es la irrigación (Soto, 2018). Además, es una de las principales actividades que presentan mayor demanda del recurso hídrico. El suministro de este depende de factores como la temperatura, humedad, entre otros, que al no ser realizados de manera correcta pueden causar daños o pérdidas sobre los cultivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017). La automatización juega un papel muy importante en la agricultura, y de este modo, se presenta al sector como una mejora y un avance en diversas actividades que se pueden abordar, desde reducir tiempos (Hernández; Rivas-Pérez; Feliu-Batlle, 2020), realizar labores de manera más eficiente y optimizar los recursos naturales (Almeida; Camejo; Santiesteban, 2017), especialmente relacionadas con el manejo del recurso hídrico (Ascencios; Meza; Lluen; Simon, 2020; Velasco, 2017). Esta investigación reconoce la importancia del buen manejo del agua y pretende evitar que se siga generando sobreexplotación de los recursos naturales que generan daños al medio ambiente.

El proceso para la adopción de tecnología en el sector agrícola es complejo, ya que los agricultores se ven obligados a desarrollar actividades muy diferentes, que convencionalmente realizan de manera manual, pero bajo la necesidad de optimizar el tiempo y el uso del recurso hídrico, se ven en la obligación de adoptar nuevas tecnologías. La adopción incide, entonces, en la medición de los resultados de la decisión de los productores de usar o no una tecnología determinada en el proceso de producción. Frecuentemente se usa este concepto para identificar los factores que influyen en la decisión del productor para aplicar una determinada tecnología (Mesa, 2013).

Según De Janvry, Macours y Sadoulet (2017), uno de los grandes problemas es la adaptación por falta de acceso relacionada con los costos, la cobertura o deficiencias de comportamiento. Por otro lado, tal como lo afirma el economista Carlo Bravi de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los pequeños agricultores pueden mejorar el modo de realizar agricultura adoptando nuevas tecnologías, pero requieren de un constante uso para entrenarse, convencerse y aprender haciéndolo. Asimismo, el sector agrícola está entre los más pobres, puesto que las dificultades se acumulan, ya que se asumen muchos riesgos, se carece de medios de infraestructura, y existe una resistencia a modificar las costumbres (El Universal, 2018).

En principio se presenta una oposición al cambio (Álvarez, 2015), es decir, el agricultor, por preferencia, costumbre y conocimientos ancestrales, prefiere continuar realizando las actividades en campo de la manera convencional, como lo aprendió de los antecesores. La resistencia al cambio, por un lado, está relacionada con el desconocimiento de la tecnología, el uso y el manejo intrínseco del entorno de trabajo y, por otro, se puede afirmar que el agricultor está convencido de que la forma adecuada de ejecutar las tareas es como se ha realizado hasta la actualidad, lo que difícilmente cambia la perspectiva para apropiarse de nuevas tecnologías, entendidas no solamente, como procesos o modelos de producción, sino también como dispositivos dados por la modernización de materiales, equipos y las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (Ugochukw; Phillips, 2018). Además, el grado de adopción de tecnología es muy variable, depende de los métodos de transferencia (Kumar; Engle; Tucker, 2018), también de la experiencia previa, la complejidad de aplicación, el sistema de producción, el grado de instrucción e inclusive puede estar limitada por asuntos políticos, culturales, religiosos (Vicini, 2015) o económicos (Chavas; Nauges, 2020).

Dada la problemática planteada previamente, mediante un modelo de enseñanza visual que incorpora una interfaz interactiva con varios métodos operativos, percepciones y experiencias (Lin; Wang; Liu; Pan; Pan, 2019), se puede capacitar al agricultor, es decir, realizar un proceso transicional de apropiación y adquisición de conocimientos relacionados con el manejo de un sistema de riego autónomo, para promover la adaptación e incentivar el uso de la tecnología.

El agricultor objeto de estudio es la persona que se ha dedicado la mayor parte de la vida a realizar tareas agrícolas, no ha tenido acceso a otras oportunidades laborales y la mayor parte del tiempo se ha dedicado a las mismas actividades, quizás el avance educativo ha sido mínimo, por tanto, ha quedado rezagado tecnológicamente. Un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de la Agencia Internacional de Desarrollo Canadiense (CIDA) del Salvador afirma que: los agricultores salvadoreños, ante las innovaciones tecnológicas, son más propensos a implementarlas cuanto más alto es el grado de educación. Este estudio fue realizado a 1.803 productores que fueron encuestados, el 73,9 % era analfabeto y solo el 26,1 % sabía leer y escribir. El grupo de los alfabetizados tiende a superar las condiciones tecnológicas. En promedio, los productores alfabetizados realizaron el 88,3 % de las innovaciones y los analfabetos el 11,7 % (Organización de los Estados Americanos [OEA], 2000). Entiéndase por innovación tecnológica no solamente la asociada a *hardware* y nuevas tecnologías de la información y la comunicación, sino también el extensionismo de materiales vegetales producto del fitomejoramiento y formas de manejo de insumos agrícolas, entre otros.

Según Pérez y Clavijo (2012), la innovación es un suceso constante, por lo cual implica investigar y reconocer que, desde los movimientos sociales, grupos, personas, pero además las instituciones que inciden en el desarrollo con micro y macrosistemas sociales, con su aportación recrean principios de innovación, la cual solo tendrá éxito solo si es adoptada y será efectiva en cuanto a su contribución de mejorar condiciones como bienestar y calidad de las personas.

Por otra parte, de igual forma que han cambiado las concepciones sobre innovación, también han cambiado los enfoques para invertir en ella. Según el Banco Mundial (2008) en los años ochenta el concepto de Sistema Nacional de Investigación fue implementado en la mayoría de los países para orientar la inversión en el desarrollo agrícola, enfocándose mayoritariamente en el fortalecimiento de la oferta de investigación mediante la provisión de apoyo a infraestructura, capacidades, administración y política a nivel nacional. Sin embargo, la decepción respecto al modelo de desarrollo planteado se hizo muy fuerte en casi todos los países latinoamericanos, lo cual según Arocena y Sutz (2001) vino de la mano con la disyuntiva entre Estado y Mercado.

Por tal motivo, la presente investigación está relacionada con la enseñanza al agricultor que no ha tenido la oportunidad de acceder a elementos tecnológicos de automatización para el sistema productivo. Se resalta que, partir de no tener acceso a lo tecnológico y pasar a un sistema totalmente autónomo, es una transición que podría no ser aceptada, dada la forma convencional de hacer las tareas agrícolas y la dificultad para adaptarse al nuevo sistema, es decir, ganar la confianza en que el proceso será hecho por un dispositivo.

Cabe resaltar que el modelo inicial considera un prototipo de alto costo, sin embargo, en la medida que el modo de trabajo sea funcional y aceptado por los productores, se busca implementar, con elementos de bajo costo y de acceso inmediato, como los dispositivos *smartphone*. Es así como, mediante el modelo transicional, se pretende evaluar el proceso de adaptación y aceptación en una de las actividades relacionadas con el riego más comunes que se realiza en el sector agrícola a campo abierto y bajo invernadero.

Mediante el presente estudio se pretende implementar un modelo gráfico destinado a la enseñanza en el uso de sistemas de riego con diferentes grados de autonomía para agricultores. Este se dividió en cinco etapas: la primera está relacionada con la comprensión y concientización del proceso que se realiza convencionalmente, es decir, el agricultor va al campo, abre la válvula manual, temporiza y cierra manualmente el riego de acuerdo con las necesidades del cultivo; la segunda etapa se denomina riego manual, ya no es necesario ir a campo, por el contrario, mediante la interfaz, se realiza la apertura de las electroválvulas, el agricultor temporiza y cierra mediante la interfaz gráfica; la tercera se denomina riego preprogramado, el sistema ya tiene los tiempos de riego por defecto; la cuarta, riego programado, el agricultor establece momentos de apertura y tiempos acordes con las necesidades de los cultivos; y la última etapa es el riego autónomo, donde el sistema automáticamente decide cuándo y cuánto regar sin intervención del agricultor a partir de lecturas de los sensores ambientales.

Adicionalmente, se pretende identificar la funcionalidad del modelo y el tiempo que requiere el agricultor, quien desconoce la tecnología y poco la ha usado para apropiarse de ella mediante un avance en cada etapa del proceso.

2. Metodología

El estudio se desarrolló en el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, con el apoyo de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en donde se integraron los grupos de investigación GICEMET e INTEGRA, respectivamente. Se realizó una revisión del estado de arte, asociado al avance de la tecnología dirigida al sector agrícola, especialmente la automatización de los sistemas de irrigación. A partir del estudio, se diseñó e implementó un sistema autónomo pensado en el usuario, es decir, el agricultor. El estudio está dividido en seis fases, cuatro de ellas están enfocadas al proceso de diseño e implementación de los modelos: manual, preprogramado, programado y autónomo, como se puede ver en el diagrama de bloques del diseño del modelo gráfico (Figura 1). Una siguiente fase consiste en realizar actividades técnicas, planos, montaje y puesta en marcha. Por último, se realizan pruebas de campo, en donde se pretende concientizar al agricultor de la tarea que realiza de manera manual y asociar a procesos de capacitación, evaluación de la aceptación y adaptación al modelo gráfico.



Figura 1. Diagrama del proceso de diseño, implementación y pruebas.

Fuente: elaboración propia.

Se realizaron los planos asociados al diseño mecánico y eléctrico mediante el uso de *software* especializado. Posteriormente, se programó el Controlador Lógico Programable (PLC) y la Interfaz Humano Máquina (HMI) mediante el software Totally Integrated Automation – TIA Portal –, y se realizaron pruebas en campo asociadas con la interacción del usuario y la interfaz gráfica (Figura 2).



Figura 2. Diagrama de bloques de proceso de fabricación.
Fuente: elaboración propia.

Se sometieron a pruebas de uso y adaptación a la interfaz gráfica. El sistema se probó con agricultores que tienen características diferenciadas; poco manejo de tecnología y bajos conocimientos relacionados con el componente tecnológico del sector agrícola. El diagrama de flujo asociado a la programación del diseño de la interfaz gráfica (Figura 3) presenta la interconexión de las pantallas existentes y las opciones en cada una de ellas, en interacción con el PLC.

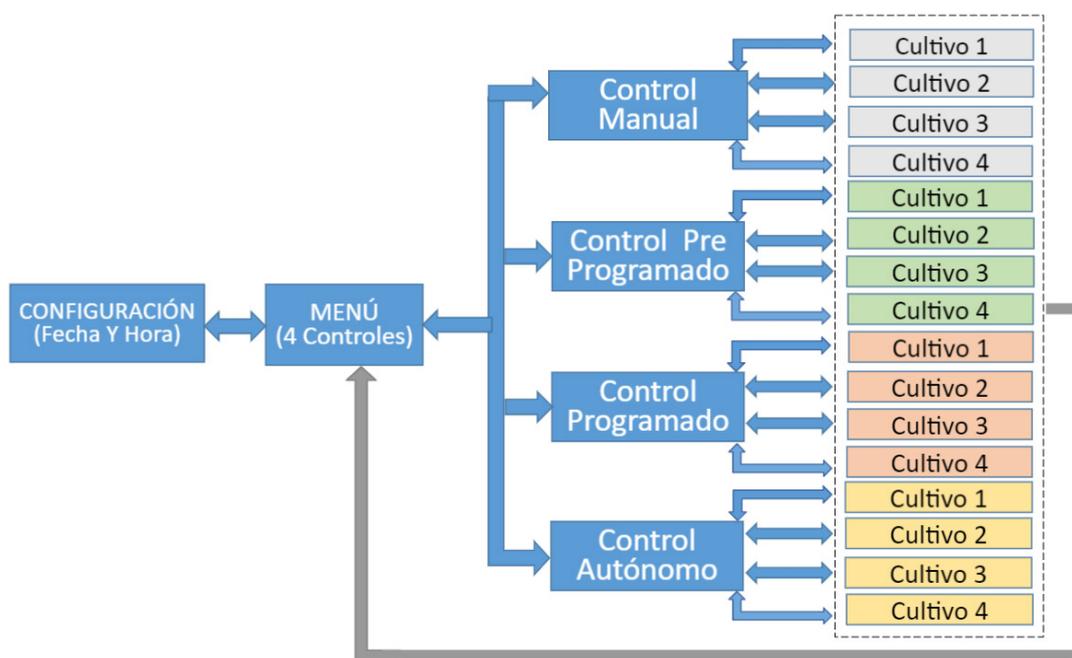


Figura 3. Diagrama de flujo de diseño de la interfaz.
Fuente: elaboración propia.

El diagrama de bloques (Figura 4) muestra la programación realizada en el software TIA Portal de Siemens. Sobre la pantalla principal de programación, se realiza un bloque de función llamado Real Time Clock (RTC), el cual almacena y opera el dato de hora, que es ingresado de manera manual. Paralelamente se realizan cinco bloques de función: bloque principal, manual, preprogramado, programado y automático, los cuales entran en funcionamiento dependiendo de un bloque selector que actúa según la elección realizada de manera manual.

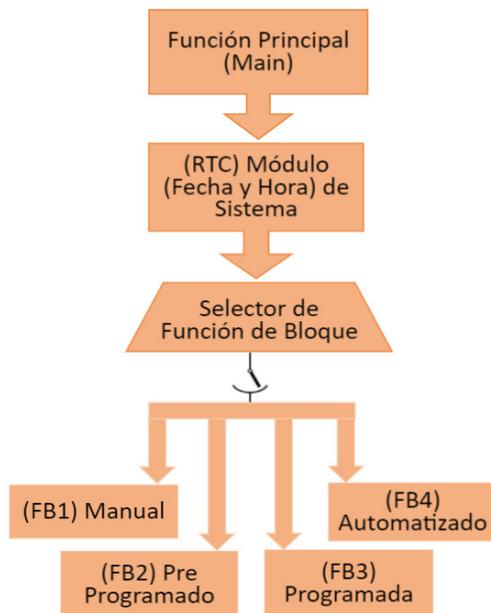


Figura 4. Diagrama de bloques de función.
Fuente: elaboración propia.

a. Encuesta de aceptación de interfaz gráfica

Al agricultor en campo se le capacitó y se le permitió interactuar con la interfaz gráfica, donde manejó cada una de las formas de trabajo y entendió el funcionamiento del sistema, gracias a ello se elaboró una encuesta con el objetivo de recopilar y evaluar información acerca de la propuesta de modelo preliminar de la interfaz gráfica implementada para ejecutar el sistema de irrigación utilizado. La encuesta se dirigió a veinte agricultores para determinar qué tan altos o bajos son los índices de aceptación. Se tuvo en cuenta algunas características distintivas de la muestra, como el bajo nivel de estudio y desconocimiento de la tecnología, entre otros aspectos. Adicionalmente, se buscó encontrar necesidades de mejora acordes con las sugerencias realizadas de parte de los agricultores. En la encuesta se evaluaron factores como simbología implementada, facilidad en el manejo y simplicidad para el entendimiento, entre otros. En la Tabla 1 se muestran las preguntas realizadas.

Tabla 1. Encuesta de aceptación de la interfaz gráfica.

1. Teniendo en cuenta el uso de la interfaz gráfica del sistema de irrigación, ¿qué tan manejable le resultó iniciar el tipo de irrigación de un cultivo deseado?	Muy difícil	
	Difícil	
	Regular	
	Fácil	
	Muy fácil	
2. ¿Identificó claramente el tipo de irrigación (manual, preprogramada, programada o autónomo) y la electroválvula que se encuentra activa asociada al cultivo?	Sí	
	No	
3. ¿Qué tan amigable resultó la interfaz gráfica del sistema de irrigación?, seleccione una opción.	Altamente amigable	
	Medianamente amigable	
	Bajamente amigable	
	No es amigable	

Fuente: elaboración propia.

b. Encuesta de uso

Al igual que en las preguntas del literal A, en esta encuesta se buscó recopilar información a partir del agricultor, sobre el uso del modelo de irrigación con diferentes grados de autonomía y la aceptación de este sobre el sistema de aplicación del recurso hídrico. Se centró en identificar la confiabilidad y la aceptación para implementar sistemas con estas características, en la Tabla 2 se observan algunas de las preguntas realizadas.

Tabla 2. Preguntas realizadas en la encuesta de uso.

1. ¿Considera que los sistemas de irrigación automatizados facilitan la tarea de irrigación manual y disminuyen el tiempo de trabajo sobre el cultivo?	Sí	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>
2. Si tuviera un sistema de irrigación automático, ¿confiaría en que este realice el riego sobre su cultivo?	Sí	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Se obtuvo una interfaz gráfica que facilita la interacción del usuario con el sistema de irrigación. A través del modelo de control y visualización, se realizó un proceso progresivo de transición entre el modelo manual y el modelo autónomo, a través de cuatro modos de trabajo: manual, preprogramado, programado y autónomo. El modelo gráfico realizó acciones similares en relación con la irrigación, en donde en cada fase se le adiciona autonomía frente el proceso de aplicación de riego y detección de variables ambientales. La interfaz permite enseñar al agricultor a usar un sistema convencional y realizar una transición a un sistema autónomo, es decir, ayuda a ganar confianza en que este último sistema va a realizar la irrigación sin la presencia del agricultor.

Adicionalmente, el sistema dispone de varios elementos asociados a la ergonomía visual, entre estos cabe destacar tamaños de objetos y letra en cajas de texto, botones, títulos descriptivos de cajas de texto e interfaces. Por otro lado, también se consideran indicadores visuales para mostrar el estado de activación mediante el cambio de color del botón en cada modo de trabajo. Para indicar la apertura de la electroválvula, y como consecuencia la activación del sistema de riego, se visualiza el cambio de color de un led indicador. Las características de estos elementos hacen parte del componente ergonómico que permite al usuario entender y adaptarse a los modos de trabajo del sistema propuesto.

a. Pantalla de asignación de hora

La primera pantalla que muestra el sistema permite realizar la asignación horaria de referencia mediante el establecimiento de información a través del operario. El objetivo es establecer la fecha y hora actuales, sincronizar los tiempos preprogramados y los programados con las horas establecidas previamente por el usuario y visualizarlas en las diversas pantallas (Figura 5). Esta es una acción que se realiza una sola vez durante la puesta en marcha del sistema.



Figura 5. Interfaz asignación de hora del sistema.
Fuente: elaboración propia.

b. Pantalla principal

La pantalla principal muestra un conjunto de opciones (Figura 6) en donde se observa el menú manual, preprogramado, programado y autónomo, además de un botón mediante el que se puede ir a la opción de programar la hora, en una caja de texto se visualiza la hora actual. Es importante resaltar que el control activo, es decir, el control que está en ejecución cambia de color respecto de los demás, en otras palabras, el sistema solo trabaja en un modo a la vez. Al interior de cada control se encuentran las cuatro electroválvulas que serán controladas, asociadas a cuatro cultivos diferentes.



Figura 6. Interfaz menú principal.
Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, en la interfaz se muestra un conjunto de ayudas asociadas a las teclas de función de la pantalla HMI (Tabla 3). El usuario puede acceder a las opciones, donde se explica la forma de uso de la interfaz, el funcionamiento de cada modo de trabajo y las formas de interacción entre el usuario y la HMI.

Tabla 3. Ayuda asociado a teclas de función.

Tecla de función	Menú ayuda
F1	Ayuda modo manual
F2	Ayuda modo preprogramado
F3	Ayuda modo programado
F4	Ayuda modo automático

Fuente: elaboración propia.

Modo manual

El modo manual permite controlar las electroválvulas por parte del usuario, es decir, el operario selecciona el cultivo que desea irrigar. Posteriormente, realiza la apertura del sistema. El tiempo de riego lo determina el agricultor dada la experiencia en campo, después de cumplido el intervalo durante el cual desea hacer la aplicación, realiza el cierre a través de la pantalla HMI, en donde se muestra la hora local y el tiempo de irrigación. La pantalla modo manual (Figura 7) corresponde al cultivo uno. En este modelo existen tres pantallas adicionales pertenecientes al cultivo dos, tres y cuatro, cada uno con la correspondiente electroválvula para el control. Esto le da al agricultor la posibilidad de establecer el área cultivada en la cual desea realizar irrigación y determinar el tiempo de apertura de manera independiente, acorde con las necesidades hídricas del cultivo, es decir, este *hardware* no necesariamente tiene que estar en el lugar donde se va a realizar el control hídrico.



Figura 7. Interfaz modo manual.

Fuente: elaboración propia.

Modo preprogramado

El usuario selecciona este modo de trabajo y el sistema temporiza el riego. El modelo está basado en criterios dados por la experiencia del agricultor, los tiempos se establecen previamente durante la programación (Figura 8), es decir, están programados por defecto, de acuerdo con un tiempo establecido previamente (Tabla 4). También pueden asignarse las electroválvulas para aproximarse a las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 4. *Tiempos asociados a los cultivos en modo preprogramado.*

# Cultivo	Hora de riego	Tiempo de riego					
		Día de la semana					
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Domingo
Cultivo 1	6:00 a. m.	35 min	30 min	25 min	30 min	25 min	35 min
Cultivo 2	6:30 a. m.	35 min	30 min	30 min	35 min	25 min	37 min
Cultivo 3	6:30 p. m.	37 min	30 min	35 min	37 min	28 min	38 min
Cultivo 4	6:00 p. m.	40 min	30 min	35 min	40 min	35 min	40 min

Fuente: elaboración propia.

En este modo, se pierde precisión en la cantidad de agua a aplicar, dado que puede llegar a requerir más o menos cantidad que la preestablecida, sin embargo, la ventaja de este proceso es que el agricultor no tiene que ir a campo a realizar el cierre después de cumplido el tiempo, el sistema lo realiza de manera comparativa entre el tiempo transcurrido y el de referencia.



Figura 8. Interfaz modo preprogramado.

Fuente: elaboración propia.

Modo programado

El modo programado parte de la necesidad de realizar una aplicación de riego a partir de los requerimientos del usuario, en función del caudal del sistema determinado previamente a través de mediciones. En la interfaz se programa la hora del día a la cual se realizará el riego y el tiempo. Cumplido el primer parámetro se realiza la apertura del sistema de riego. Posteriormente, una vez se cumple el segundo parámetro, se cierra la electroválvula asociada al cultivo (Figura 9).



Figura 9. Interfaz modo programado.
Fuente: elaboración propia.

En la pantalla se muestra un indicador de apertura o funcionamiento de cada electroválvula y el tiempo transcurrido hasta la desactivación.

Modo automático

Esta etapa de programación parte de la necesidad de integrar todo el sistema, es decir, variables ambientales con un modelo de control y la información en tiempo real. Las variables para controlar son temperatura ambiental, humedad ambiental y humedad del suelo, las cuales se manejan mediante un extractor, apertura y cierre del techo del invernadero y del sistema de irrigación. La interfaz gráfica de este modo de trabajo es la más sencilla en relación con el diseño, programación y uso, sin embargo, la complejidad asciende con el nivel de precisión del sistema y la cantidad de variables a controlar a través de las salidas del controlador.

El proceso de transición progresiva del modo manual al modo automático permite al agricultor ganar la suficiente confianza en que el sistema realizará la tarea de irrigación. En este punto de avance en el proceso de enseñanza, el operario se ha familiarizado con los posibles modos de trabajo, a tal punto que el agricultor tiene la posibilidad de definir qué modo de trabajo usar en determinadas condiciones, teniendo en cuenta que este último modelo cumple con los requerimientos sin ninguna intervención. No se ahondará en el modo de trabajo autónomo de manera específica, dado que no está dentro del alcance del presente artículo, cuyo enfoque direcciona el estudio a la apropiación de los conocimientos del proceso y el afianzamiento de la tecnología en pequeños agricultores.

c. Grado de aceptación asociado al uso de la tecnología

Fue posible conocer el grado de aceptación de la tecnología gracias a la elaboración y aplicación de encuestas a un grupo de agricultores. Según los resultados arrojados, un 89 % de ellos reconocen que los sistemas de irrigación automáticos facilitan las tareas y disminuyen los tiempos sobre el cultivo. En la Figura 10 se muestran los resultados de manera gráfica.

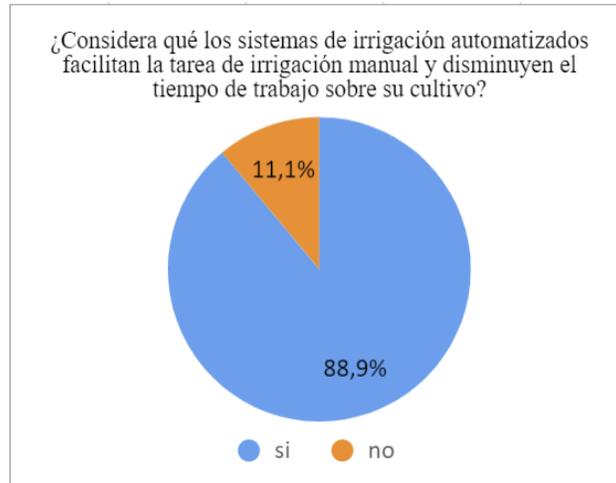


Figura 10. Encuesta de aceptación sistema de irrigación automático.
Fuente: elaboración propia.

Además, se obtuvo una respuesta afirmativa en un 100 % ante la pregunta de si implementarían un sistema de irrigación automático independientemente del costo.

d. Aceptación de interfaz gráfica de manejo

Los resultados arrojados por medio de las encuestas permitieron afirmar que, sobre el uso de la interfaz gráfica, a un 66,7 % y un 11,1 % les resultó fácil y muy fácil, respectivamente, iniciar la irrigación en un cultivo, mediante el ejercicio del uso del sistema visual (Figura 11). Esto quiere decir que los agricultores aplican de manera correcta y sin inconvenientes la capacitación inicial.

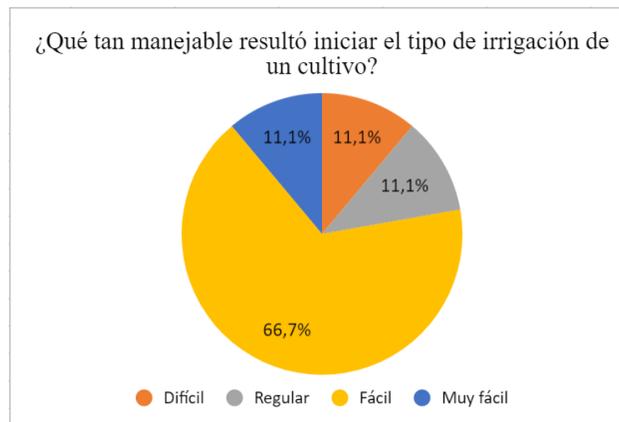


Figura 11. Encuesta de aceptación de interfaz gráfica de manejo.
Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo un 66,7 % de favorabilidad en cuanto a la simbología implementada sobre la interfaz gráfica, esto quiere decir que los agricultores, en su mayoría, comprenden el concepto de los símbolos dispuestos para hacer un correcto manejo. Cabe aclarar que el agricultor necesita obligatoriamente de una capacitación previa en campo, una explicación detallada del funcionamiento y manejo de sistemas bajo cubierta, controlados por medio de interfaz gráfica, de tal manera que se apropien del conocimiento relacionado. Cáceres, Silvetti, Soto y Rebolledo (1997) consideran que la adopción de nuevas tecnologías por parte de agricultores no puede ser estudiada sin contextualizarla en procesos socioeconómicos e históricos más integradores. El estudio permitió

identificar las falencias dentro de la enseñanza para el agricultor, tanto en el manejo de un prototipo de sistema con alto nivel de autonomía, como para el diseño de la interfaz gráfica. Esto permitió corregir y mejorar detalles del sistema general.

Es importante destacar que los procesos de aprendizaje de nuevas tecnologías deben adaptarse permanentemente a las características que en cada momento las componen (García; Portillo; Romo; Benito, 2007). Siendo así, el proceso ejecutado busca generar una estrategia de enseñanza para la adaptación, teniendo en cuenta el contexto de los agricultores, como sus condiciones sociales y educativas, entre otras. Según García *et al.* (2007), el verdadero potencial de una nueva tecnología suele tardar una generación en articularse, por tanto, establecer una estrategia pedagógica permite contribuir en el desarrollo de estos sistemas inmersos dentro de estas nuevas tendencias.

Por otro lado, la implementación de un sistema de irrigación con diferentes grados de autonomía, como el planteado en este estudio, generará un índice de costo elevado, por la tecnología implementada. Además, se necesita de energía de la red para su funcionamiento, pero es posible reducir los costos implementando elementos de menor consumo de energía y de menor valor económico. En el Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila, un grupo de ingenieros implementaron y desarrollaron un invernadero con tecnología de punta a bajo costo, a partir del uso de energía renovable, componentes electrónicos y equipos tecnológicos, implementaron microcontroladores y sensores eficientes de bajo costo, entre otros elementos (Rincón; Silva; Torres, 2017). Por otro lado, Medina y Lardizábal (2011), de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), escribieron un manual de producción para la construcción de invernaderos de bajo costo. En este se describen características para tener en cuenta al momento de la construcción, para evitar costos a largo plazo, entre otras consideraciones. Por otro lado, implementar un sistema de irrigación que se alimente de energía 100 % renovable es un objetivo que se plantea como mejora, esto con el fin de disminuir el impacto ambiental. Un ejemplo lo proporciona Sánchez (2003), quien realiza un estudio para implementar energía solar para el funcionamiento de invernaderos en Navarra, España.

4. Conclusiones

A partir del diseño implementado de interfaz gráfica se genera una interacción del usuario con el sistema, la cual establece una manera sencilla de enseñanza para el agricultor que nunca ha tenido acceso a este tipo de tecnología. El sistema permite enseñar al usuario a realizar una tarea sencilla, como la irrigación, mediante la implementación de un proceso transicional desde el modo manual hasta el modo automático, es decir, en cada modo de trabajo, el agricultor está ganando confianza en el sistema de manera progresiva e intuitiva, de tal manera que este sistema permite familiarizar al agricultor con los niveles de autonomía de los sistemas de irrigación y la posible decisión de implementación en la pequeña empresa agrícola.

El modelo de enseñanza se adapta a las necesidades del usuario agricultor de base, es decir, quien no ha tenido acceso a sistemas de control de riego y desconoce su funcionamiento. Adicionalmente, hace parte de un proceso de enseñanza progresivo con diferentes grados de autonomía para el manejo del recurso hídrico. El presente estudio pretende evaluar la aceptación y apropiación del conocimiento por parte del agricultor, en función de los conocimientos previos en temas tecnológicos, y quizás del nivel educativo, el cual puede influir en la toma de decisiones frente a la modernización de la empresa agropecuaria, que puede ser una medida para mejorar los rendimientos y reducir el impacto ambiental.

El sistema de apropiación del conocimiento se usa en irrigación en campo abierto o bajo cubierta, sin embargo, también es factible la implementación en otros modelos de producción como agricultura urbana, en donde una persona en la ciudad puede adaptarse a la tecnología como estrategia para el uso posterior de elementos tecnológicos autónomos. El costo de la implementación en prototipo es elevado, por tanto, realizar una aplicación móvil hace parte de una solución, dado que en la transferencia tecnológica actual se ha utilizado el *smartphone* como herramienta para múltiples aplicaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, a través de su proyecto “Diseño e implementación de un sistema SCADA mediante PLC para el manejo de riego y variables asociadas bajo invernadero” con código SGPS-2014-2017, que está contribuyendo con el tiempo de investigadores y equipos para este tipo de iniciativas. Un agradecimiento especial a la Universidad Distrital Francisco José De Caldas (UDFJC), por el apoyo en la ejecución del proyecto, de igual manera se agradece a los grupos de investigación GICEMET del SENA e INTEGRA de la Universidad DFJC, por su colaboración activa a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

Referencias

- Almeida, Enrique; Camejo, Lorenzo; Santiesteban, Cosme (2017). La fertirrigación inteligente, pilar de una agricultura sostenible. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(3), 36-49.
- Álvarez, Francisco (2015). *Implementación de nuevas tecnologías: Valuación Variables, riesgos y escenarios tecnológicos* (1ra Ed.). San Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
- Mesa, Sandra (2013). *Adopción de tecnologías y desarrollo de capacidades: el caso de la asociación de agrolecheros de Usme, vereda el destino en Bogotá, entre el 2009-2012* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Arocena, Rodrigo; Sutz, Judith (20 de diciembre de 2001). *Sistemas de innovación y países en desarrollo. Formación*. <https://formacionib.org/noticias/?Sistemas-de-innovacion-y-paises-en-desarrollo>
- Ascencios, David; Meza, Karem; Lluen, Jeisson; Simón, George (2020). Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 95-105. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.540>
- Banco Mundial (2008). *Incentivar la innovación agrícola: como ir más allá del fortalecimiento de los sistemas de investigación*. Washington, DC: Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A.
- Cáceres, Daniel; Silvetti, Felicitas; Soto, Gustavo; Rebolledo, Walter (1997). La adopción tecnológica en sistemas agropecuarios de pequeños productores. *Agrosur*, 25(2), 123-135. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1997.v25n2-01>
- Chavas, Jean-Paul; Nauges, Céline (2020). Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(1), 42-53. <https://doi.org/10.1002/aep.13003>
- De Janvry, Alain; Macours, Karen; Sadoulet Elisabeth (2017). *Learning for Adopting: Technology Adoption in Developing Country Agriculture*. Paris: Fondation pour les Etudes et Recherches sur le Développement International.
- El Universal (10 de septiembre de 2018). Tecnología, una herramienta para los agricultores más pobres. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/tecnologia/tecnologia-una-herramienta-para-los-agricultores-mas-pobres>
- García, Felipe; Portillo, Javier; Romo, Jesús; Benito, Manuel (2007). Nativos digitales y modelos de aprendizaje. *Memorias del IV Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño, Evaluación y Desarrollo de Contenidos Educativos Reutilizables, SPDECE*. Bilbao, España.

- Hernández-López, Ybrain; Rivas-Pérez, Raúl; Feliu-Batlle, Vicente (2020). Control automático de la distribución de agua en sistemas de riego: revisión y retos. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(2), 80-97.
- Kumar, Ganesh; Engle, Carole; Tucker, Graig (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the world aquaculture society*, 49(3), 447-476.
<https://doi.org/10.1111/jwas.1251>
- Lin, Chi-Hsuan; Wang, Wei-Chuan; Liu, Chun-Yung; Pan, Po-Nien; Pan, Hou-Ru (2019). Research into the E-Learning Model of Agriculture Technology Companies: Analysis by Deep Learning. *Agronomy*, 9(2), 83. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020083>
- Medina, Melvin; Lardizábal, Ricardo (2011). *Manual de producción, construcción de invernadero de bajo costo*. La Lima: USAID-Acceso.
http://bvvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/292/Acceso_Manual_Produccion_Construccion_Invernaderos_40_11.pdf?sequence=1
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Washington: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de los Estados Americanos (2000). *El Salvador-Zonificación agrícola-Fase índice prefacio*.
<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea34s/oea34s.pdf>
- Pérez, Manuel; Clavijo, Neidy (2012). *Experiencias y enfoques de procesos participativos de innovación en agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Rincón, Paulo; Silva, Jesús; Torres, Alejandro (2017). Automatización de invernadero para producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 3, 10-23.
<https://doi.org/10.23850/25004468.1419>
- Sánchez, Ignacio (2003). Aplicación de energías renovables a invernaderos La energía solar y su aplicación a los invernaderos en navarra. *Navarra Agraria*, 142, 35-44.
- Soto, Freddy (2018). Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 59-73.
<https://dx.doi.org/10.15517/rac.v42i2.33779>
- Ugochukwu, Albert; Phillips, Peter (2018). Technology adoption by agricultural producers: a review of the literature. In: Kalaitzandonakes, N.; Carayannis, E.; Grigoroudis, E.; Rozakis, S. (Eds.), *From agriscience to agribusiness* (pp. 361-377). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-67958-7_17
- Velasco, Jorge (2017). El avance de la automatización en la agricultura. *Red Agrícola*.
<https://www.redagricola.com/cl/el-avance-de-la-automatizacion-en-la-agricultura/>
- Vicini, Luis (2015). Adopción de tecnología agrícola. *Horizonte Agroalimentario*, julio, 10-13.