

Automated Irrigation System Proposal using the SCRUM methodology to enhance the water consumption in Corn Crops on an Agricultural Farm

Anderson N. Perales López, Bachelor¹, Jose M. Leython Lías, Bachelor¹, and Rolando J. Berrú Beltrán, Master¹
¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00122874@upn.pe, n00099811@upn.pe, rolando.berru@upn.edu.pe

Abstract— The present research work was carried out with the objective of analyzing the characteristics of the water consumption of corn crops on an agricultural farm in Chepen in 2021 and the aspects that must be considered from the SCRUM methodology to propose an automated irrigation system. The type of study was descriptive-propositive study; with a sample consisting of 4 hectares. For the data collection, a survey was applied to each cultivated hectare of the farm, which allowed us to make a diagnosis for the to dimension. For the development of the submitted proposal, the theoretical framework corresponding to SCRUM was taken as a reference. The dimensions included in the water consumption were availability of water resources and unsatisfied demand, while the propositional aspects considered in the proposal of the automated irrigation system were ability to measure environmental parameters and level of irrigation control. Likewise, the thematic aspects on which The SCRUM methodology was analyzed were roles, events, artifacts. The results obtained showed that an automated irrigation system is able to irrigate optimally a corn crop throughout its growth stage with different environmental factors for and against. Based on the above, we can conclude that an automated irrigation system is able to irrigate a corn crop improving the water efficiency.

Keywords— Automated systems, irrigation, corn crops, agricultural farm, SCRUM methodology.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.30>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Propuesta de un Sistema de Riego Automatizado usando la Metodología SCRUM para mejorar el Consumo de Agua en Cultivos de Maíz en una Finca Agrícola

Anderson N. Perales López, Bachiller¹, Jose M. Leython Lías, Bachiller¹, y Rolando J. Berrú Beltrán, Magíster¹
¹Universidad Privada del Norte, Perú, n00122874@upn.pe, n00099811@upn.pe, rolando.berru@upn.edu.pe

Resumen– El presente trabajo fue llevado a cabo con el objetivo de analizar las características del consumo de agua en cultivos de maíz en una finca agrícola en Chepén en 2021 y los aspectos que se deben considerar de la Metodología SCRUM para proponer un sistema de riego automatizado. El tipo de estudio fue propositivo; considerando como muestra 4 hectáreas. Para la recolección de información se aplicó una encuesta a cada hectárea cultivada de la finca, que nos permitió realizar un diagnóstico de las dos dimensiones. Para la elaboración de la propuesta, se tomó como referencia el marco teórico correspondiente a SCRUM. Las dimensiones abarcadas para el consumo de agua fueron Disponibilidad del recurso hídrico y Demanda insatisfecha, mientras que los ejes propositivos considerados en la propuesta del sistema de riego automatizado fueron Capacidad de medir parámetros ambientales y Nivel de control de riego. Asimismo, los ejes temáticos de la Metodología SCRUM fueron Roles, Eventos y Artefactos. Los resultados obtenidos demostraron que los sistemas de riego automatizado son capaces de regar de forma óptima un cultivo de maíz a través de su etapa de crecimiento con diferentes factores ambientales a favor y en contra. En base a lo mencionado, podemos concluir que un sistema de riego automatizado es capaz de regar un cultivo de maíz y mejorar la eficiencia de agua.

Palabras clave: *Sistemas automatizados, riego, cultivos de maíz, finca agrícola, metodología SCRUM.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se hace un mal uso del recurso hídrico en el sector agrícola, y uno de los cultivos que más consume este recurso es el maíz. Durante los últimos 35 años, nuevos descubrimientos han dado importancia a los procesos que subyacen a la relación entre el rendimiento de los cultivos y el uso del agua [1]. Para ello la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura comenzó investigaciones enfocadas en determinar el rendimiento de los cultivos en relación con el uso y el déficit del agua [1].

Se ha generado una necesidad de ahorro y uso eficiente de agua debido a la escasez del recurso hídrico, y junto a la gran demanda de producción de maíz traen consigo que se necesiten tomar medidas para el uso de estos recursos que son finitos, las características actuales del maíz no son suficientes,

principalmente, poca altura de planta, mayor precocidad y hojas superiores erectas [2].

El maíz, pese a ser uno de los productos más cultivados a nivel mundial, es también uno con los mayores costos de producción ya que se requiere de muchos recursos para poder solventar la demanda, especialmente del preciado recurso hídrico. Entre los problemas del maíz se encuentra el bajo aprovechamiento del agua, ya que durante el riego sólo se aprovecha el 45% y el restante se pierde filtrándose a través de la tierra, arrastrando fertilizantes como nitrógeno y otros compuestos [3].

Estas consecuencias afectan de forma global, como por ejemplo en México, la eficiencia en el uso del agua de riego, específicamente la eficiencia de aplicación se encuentra por debajo del 40 % en la mayoría de los distritos y módulos de riego del país, repercutiendo en grandes pérdidas en los volúmenes de agua que se utilizan a través del riego [4].

En Israel, un pequeño país ubicado en una región árida – semiárida se han invertido muchos años en investigar y desarrollar tecnologías que permiten el manejo eficiente de las escasas cantidades de agua que poseen. Tras la adición de los sistemas de riego a presión en los años 50, hubo un cambio importante en las prácticas agrícolas tradicionales, impulsándolas hacia una agricultura moderna y de alta productividad [5].

En Perú, en el año 2016, la cantidad de unidades agropecuarias que aplicaron riego tecnificado aumentaron en 2,1 puntos porcentuales con respecto al año 2015, dando un total de 17,1%. Asimismo, el riego por aspersión fue el más utilizado (84,8%), seguido por goteo (9,5%) [6]. Igualmente, dio a conocer que el riego por aspersión es el más utilizado por este grupo de productores (85,2%), seguido por el riego por goteo (9,0%) y otros que incluye multicompuestas, manga y exudación (7,8%) [6].

En La Libertad departamento de Perú, cultivan diferentes tipos de plantas, y su demanda de producción de maíz es una de

las más solicitadas y esto puede evidenciarse debido a que, según el ministerio de agricultura y riego La Libertad tiene el 9% de la producción de maíz amarillo duro entre las provincias de Ascope, Chepén, Pacasmayo y Virú [7].

En la localidad de Chepén provincia de La Libertad del departamento de Perú se pueden apreciar algunos problemas en el sector agrícola lo cual trae consigo problemas para los agricultores, podemos observar que, según [8], Chepén aún tiene un bajo rendimiento de los cultivos instalados en cada campaña agrícola, pérdidas económicas, endeudamiento de los beneficiarios, limitada disponibilidad de agua para riego, perdidas por infiltración, inadecuada infraestructura de riego, deficiencia en la gestión y administración del agua para riego.

II. ANTECEDENTES

Zapata et al. [9], en su investigación “Autoprogramadores para coberturas de riego por aspersión”, establecieron como objetivo facilitar la programación de riego para reducir el tiempo dedicado a estas actividades, este trabajo se realizó en un sector de Aragón. Para llegar al objetivo se desarrolló un prototipo de autoprogramador para riego por aspersión y se probó realizando tres tipos de riego repartido en secciones. Como resultado se obtuvo que el tratamiento 1 (riego automático programada) y 2 (riego automático avanzado) son más eficientes para encontrar el momento adecuado para regar las plantas, por ello se concluyó que el programador automático reduce el tiempo y los conocimientos requeridos por el agricultor para realizar la tarea de riego.

Rueda et al. [10] en su trabajo “Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un microinvernadero aplicado al cultivo de Albahaca”, tuvieron como objetivo desarrollar e implementar una red neuronal capaz de administrar el riego de un microinvernadero ubicado en México. Para conseguir el objetivo se implementó un sistema con sensores para obtener los datos y controlar el riego del invernadero. Se obtuvo como resultado una red neuronal capaz de controlar las necesidades de las plantas de Albaca con un margen de error del 1.67%, por lo tanto, se concluyó que fue posible diseñar e implementar un sistema capaz de realizar un riego eficiente para los cultivos sin necesidad de ser atendido por una persona.

Parada y Carrillo [11] en su investigación “Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles” plantearon como objetivo conocer los resultados de implementar un prototipo de optimización de sistemas de riego a través de dispositivos móviles en el Centro Agroempresarial y Acuícola, ubicado en Fonseca, La Guajira. Para desarrollar el trabajo de instaló un sistema de riego para tomar datos iniciales y que luego fue adaptado para ser manejado a través de dispositivos móviles. Como resultado se logró aplicar el prototipo al sistema de riego ya instalado reduciendo el consumo de agua en un 55%, por lo que se concluyó que la implementación de un sistema de riego

automatizado ayuda a incrementar la producción del cultivo y facilita al operador el riego de éste.

Mendoza et al. [12] en su investigación “Uso de programa IrriModel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”, establecieron como objetivo dar a conocer los beneficios del riego por goteo en maíz apoyado con el software IrriModel 2.0 dentro del Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF), ubicado en el norte de Sinaloa. Para conseguir el objetivo se guiaron de los cálculos realizados por IrriModel 20 usando datos históricos de clima de años anteriores. Como resultado se obtuvo que para alcanzar el máximo potencial de rendimiento no debe haber estrés hídrico en las etapas más críticas como la floración que puede afectar mermas en el rendimiento del cultivo de maíz.

Turiján et al. [13]. en su investigación “Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla”, establecieron como objetivo reconocer los tipos de tecnologías y cómo influyen en la productividad del maíz en el municipio. Para conseguir el objetivo se recopiló información y se aplicó una encuesta a una muestra representativa de productores en 2009 de acuerdo con los niveles de uso de tecnología utilizando el índice de apropiación de tecnologías modernas (IATM) y el grado de empleo de tecnologías campesinas (GETC). Se concluyó que las tecnologías modernas resultan predominantes en actividades como las actividades de preparación del terreno (surcado y tipo de semilla), control de malezas y fertilizantes. Se obtuvo como resultado que la siembra del maíz amarillo tuvo una mayor producción del 12% y 82% en maíz blanco.

III. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo descriptiva-propositiva, para la cual se hizo un análisis de los niveles de consumo de agua en la finca agrícola ubicada a un kilómetro de Pacanguilla provincia de Chepén. Además, se aplicó la metodología SCRUM, presente en investigaciones similares, para seleccionar aspectos útiles en la elaboración de la propuesta.

Para el trabajo se contó con una población de siete hectáreas ubicadas en una finca agrícola en Chepén. Y se tomó como muestra cuatro hectáreas, siendo una muestra no probabilística.

A. Diagnóstico del problema.

Se realizó un diagnóstico de consumo de agua en las hectáreas de cultivo de maíz durante los meses de enero y marzo del año 2021 mediante el uso de hojas de entrevista, esto con el fin de conocer el estado de consumo de agua.

Para realizar el diagnóstico se usaron las dimensiones de “Disponibilidad del recurso hídrico” y “Demanda insatisfecha”, que tuvieron como indicadores “Volumen de agua utilizada” y

“Volumen de agua requerida” para cada dimensión. Luego se analizaron las respuestas de las encuestas, con las cuales se determinó que los trabajadores de la finca realizan un riego no controlado lo cual supone un gasto excesivo del recurso hídrico.

B. Conceptualización.

Se procedió a analizar antecedentes que también aplicaron la metodología SCRUM y se determinaron los aspectos teóricos requeridos para realizar el presente trabajo.

Una vez obtenido los aspectos teóricos que se usarían para el trabajo, se procedió a realizar el mismo análisis para los sub ejes temáticos donde se determinaron aquellos que se consideraron necesarios para la elaboración de la propuesta.

C. Definición de la propuesta.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados en las etapas anteriores se realizó un cronograma para las actividades que se llevarían a cabo para elaborar la propuesta del sistema de riego automatizado, teniendo en cuenta los aspectos considerados de la metodología SCRUM. Entre las funcionalidades planificadas para el sistema de riego se encuentran la toma de datos meteorológicos del cultivo, el control de la cantidad de agua suministrada durante el desarrollo del cultivo de maíz y una interfaz capaz de mostrar al usuario un resumen de los datos recolectados, así como también el estado del sistema.

IV. RESULTADOS

A continuación, se exponen e interpretan los resultados obtenidos pertenecientes al diseño de un sistema de riego automatizado para el consumo de agua usando la metodología SCRUM, en una finca agrícola en Chapén durante el 2021. Para la recolección de datos se usaron cuestionarios con el fin de identificar la problemática existente.

A. Diagnóstico del problema.

TABLA I
PREGUNTAS DE LA DIMENSIÓN DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Nº Pregunta para la dimensión Disponibilidad del recurso Hídrico	Nunca	A veces	Siempre
1. ¿Dispone usted de la suficiente cantidad de agua de riego para su parcela de cultivo de maíz?		4	
2. ¿Tiene agua de riego para su parcela de cultivo de maíz?		4	
3. ¿Tiene problemas con el transporte del agua hasta su parcela?	2	2	
4. ¿Tienen reservorios de agua para su parcela de cultivo de maíz?	4		
6. ¿Con frecuencia usted riega su hectárea de cultivo?			4
8. ¿Tiene problemas con el actual sistema de riego que utiliza?	2	2	
9. ¿Trae agua en baldes para regar sus hectáreas o parcelas?	4		

12. ¿Tiene inconvenientes con la cantidad de agua que actualmente disponen, lo cual origina riñas y/o conflictos con los pobladores de la zona?	4		
---	---	--	--

Como se puede observar en la Tabla I, se recolectó información de cada hectárea analizada en la etapa de diagnóstico, que se evidencian en la dimensión “Disponibilidad del recurso hídrico”.

Según los resultados mostrados, los agricultores de la finca expresaron que la cantidad de agua de la que disponen para realizar el riego de las 4 hectáreas de cultivo no era suficiente para satisfacer las necesidades de éste (Pregunta 1), asimismo al no tener suficiente cantidad hubo ocasiones donde no se contó con el recurso (Pregunta 2).

También, se comunicó que 1 de las 4 hectáreas tiene problemas para poder transportar el agua, esto debido a la gran distancia que existe hasta la fuente de agua (Pregunta 3), de igual manera esto también afectó al pequeño sistema de riego que poseen, ya que la bomba que lo alimentaba tenía que realizar un mayor esfuerzo para llevar el agua hasta esa hectárea (Pregunta 8), esto a su vez evitaba que los agricultores tengan que cargar el agua hasta las hectáreas (Pregunta 9).

Además, se reportó que no disponían de ningún reservorio en el cual almacenar el agua, puesto que su sistema de riego actual extraía el agua directamente de la fuente (Pregunta 4), esto supuso un problema ya que el riego del cultivo se realizaba siempre (Pregunta 6).

Por último, los agricultores expresaron que no tuvieron problemas con los otros agricultores de la zona al momento de conseguir el agua que necesitan (Pregunta 12).

TABLA II
PREGUNTAS DE LA DIMENSIÓN DEMANDA INSATISFECHA

Nº Pregunta para la dimensión Demanda Insatisfecha	Nunca	A veces	Siempre
5. ¿Alguien se encarga en su localidad, de regular el agua de riego en las áreas de cultivo de maíz?			4
7. ¿Utiliza un sistema de riego tecnificado usted?			4
10. ¿Llegaron a la ciudad autoridades gubernamentales para impulsar el desarrollo tecnológico para un riego tecnificado?	4		
11. ¿Hubo momentos que tuvo que pagar cantidades exorbitantes por el riego de su hectárea?		4	

Como se aprecia en la Tabla II, se recolectó información de cada hectárea analizada en la etapa de diagnóstico, que se evidencian en la dimensión “Demanda insatisfecha”.

De acuerdo con los resultados expuestos, los agricultores comunicaron sobre la existencia de autoridades encargadas de realizar un control sobre el agua para la agricultura (Pregunta 5), más aún estas no han llevado a cabo ninguna acción para

impulsar el desarrollo tecnológico del sector agrario (Pregunta 10).

También, se indicó que en la finca se disponía de un sistema de riego tecnificado para reducir el consumo de agua (Pregunta 7), esto debido a que para conseguir una fuente de agua se tenían que realizar excavaciones lo cual se debe realizar constantemente generando un costo muy alto (Pregunta 11).

A partir de lo analizado anteriormente, se comprobó que la demanda de agua no se podía satisfacer debido a su fuente de agua limitada, por lo que se tuvo que recurrir a un sistema de riego básico para prolongar la duración de esta fuente antes de buscar otra.

B. Conceptualización.

TABLA III
EJES TEMÁTICOS DE SCRUM

Ejes Temáticos	Sub ejes Temáticos
Roles	Product Owner, Scrum Master, Scrum Team
Eventos	Sprint, Sprint Planning, Sprint Review
Artifacts	Product Backlog, Sprint Backlog, Incremento

En la Tabla III se exponen los aspectos teóricos de SCRUM considerados para realizar la propuesta de diseño de un sistema de riego automatizado en cultivos de maíz. Como se aprecia en la figura, se consideraron los sub ejes temáticos Product Owner, Scrum master y Scrum Team del eje Roles, debido a que es una forma adecuada de asignar una responsabilidad como lo es el Scrum Master el cual es capaz de trabajar con el equipo y siendo capaz de colocarse al servicio de éste tanto como incentivar y motivar al Scrum Team hasta resolver conflictos que ocurran el progreso del proyecto, de igual modo el Product Owner es importante ya que tiende a canalizar las necesidades del negocio y revisar el producto e ir adaptándolo de funcionalidades, analizando mejoras que esta se puedan otorgar al producto, dicho rol es necesario para conocer el negocio, hace un análisis de costo y beneficio, y facilitar la comunicación en las relaciones interpersonales. Y por último el Scrum Team quien tuvo la responsabilidad de la entrega potencial del software que controlará a los microcontroladores del sistema de riego.

También se consideraron los sub ejes Sprint, Sprint Planing y Sprint Review del eje Eventos, ya que este proyecto requirió cambios en el transcurso de su desarrollo y esta metodología se adapta a proyectos de esas características. Uno de los mayores beneficios de Sprint Planning es la visión que tiene el equipo de proyecto con el objetivo de realizar dicha solución el cual se basa en un producto que se elabora con la mejor solución entregable en el mínimo tiempo y esfuerzo, dicho proceso permitió elaborar una táctica que nos facilitó organizar las responsabilidades entre los integrantes de este proyecto. El Sprint permitió llevar un control en el tiempo de desarrollo al

dividir las tareas que el equipo del proyecto definió, al igual que el Sprint Review, el cual es organizado por el Product Owner, lo cual otorgó una reunión para brindar transparencia tanto al equipo como al cliente que es necesario con la presencia del Equipo Scrum.

Finalmente se tomaron en cuenta los sub ejes Product Backlog, Sprint Backlog e Incremento del eje Artefactos. Si tomamos la importancia del Product Backlog en el proyecto podemos decir que éste evoluciona a medida que el producto o el entorno también lo hacen, ya que, al ser dinámico, tuvo cambios constantes para identificar qué necesitaba el producto para ser adecuado. También tenemos al Sprint Backlog el cual es un conjunto de ítems requeridos para el cliente de la funcionalidad del software que se realizaron para cada Sprint y por último está el Incremento que son el conjunto de ítems del Sprint Backlog que ya desarrolló el Scrum Team. Dichos sub ejes aplicados al proyecto proporcionaron la posibilidad de tener cambios por ejemplo el área de la finca o reubicación del pozo del subsuelo para el recurso hídrico con el cual se riega los cultivos.

C. Definición de la propuesta.

Se empezó definiendo los roles que tomaría cada persona involucrada en el desarrollo de la propuesta, obteniendo así la Tabla IV.

TABLA IV
ROLES Y ENCARGADOS

Roles	Encargado
Product Owner	Dueño de la Finca
SCRUM master	Uno de los investigadores
SCRUM team	Los investigadores

Una vez definidos los roles, se habló con el dueño de la finca para elaborar una lista de requerimientos necesarios para el sistema de riego; de esta lista se pudieron elaborar las historias de usuario con sus respectivos criterios de aceptación, también se realizó una investigación de trabajos similares para obtener una mejor noción de las necesidades del sistema.

Luego se realizó el Sprint Planning, donde se elaboró un Sprint Backlog para cada Sprint que permitió llevar el control de las actividades programadas para el desarrollo del proyecto. Así como también las historias de usuario correspondientes para cada sprint con sus respectivos criterios de aceptación y sus responsables.

TABLA V
HISTORIAS DE USUARIO

Enunciado de la Historia	Alias
Como agricultor, necesito que el sistema cuente con una pantalla, con la finalidad de conocer el estado del sistema y el cultivo.	Interfaz
Como agricultor, necesito que el sistema sea capaz de suministrar agua a los cultivos, con la finalidad de que pueda regar el cultivo sin la necesidad de interacción humana.	Suministro de agua

Como agricultor, necesito que el sistema conozca las áreas que están siendo regadas en el momento, con la finalidad de que me muestre en pantalla dicha información.	Información de cultivo
Como agricultor, necesito que el sistema cuente con sensores de humedad, lluvia y temperatura, con la finalidad de conocer los valores de estas variables.	Datos de sensores
Como agricultor, necesito que el sistema deba analizar los valores de humedad y lluvia, con la finalidad de tomar acciones necesarias para el riego.	Análisis de datos
Como agricultor, necesito que el sistema cuente con una fuente de energía sustentable, con la finalidad de reducir el gasto económico y contaminación ambiental.	Fuente de energía
Como agricultor, necesito que el sistema muestre la cantidad de agua que se está administrando al cultivo, con la finalidad de comprobar que la cantidad de agua es correcta.	Cantidad de agua
Como agricultor, necesito que el sistema debe tener en cuenta la etapa de crecimiento del cultivo, con la finalidad de suministrar mayor o menor cantidad de agua según se requiera.	Etapas de crecimiento
Como agricultor, necesito que el circuito del sistema esté conformado por microcontroladores Arduino, con la finalidad de poder disminuir los costos del sistema.	Diseño del circuito
Como agricultor, necesito que el circuito del sistema tenga comunicación mediante Bluetooth o radio, con la finalidad de comunicar toda la información a un solo Arduino Principal.	Comunicación del sistema
Como agricultor, necesito que se puedan anexar más Arduinos al circuito del sistema, con la finalidad de que el sistema sea escalable.	Escalabilidad

Después de elaborar la Tabla V se realizó un cronograma de actividades con el fin de resumir las actividades planificadas con sus respectivas fechas de inicio y fin.

TABLA VI
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Al finalizar cada sprint que se observa en la Tabla VI se realizó el Sprint Review para ver los aspectos a mejorar y el resultado obtenido de la iteración, con el fin de mejorar aquellos puntos débiles que pudieron encontrarse y realizar las respectivas modificaciones en el Product Backlog.

Actividad	Inicio	Fin	Duración (Días)
Sprint 1	5-Jul-21	16-Jul-21	10
Historias de usuario	5-Jul-21	8-Jul-21	4
Hoja de ruta del proyecto	9-Jul-21	12-Jul-21	2
Pila de producto	13-Jul-21	14-Jul-21	2
Lista de tareas de la iteración	15-Jul-21	16-Jul-21	2
Sprint 2	19-Jul-21	30-Jul-21	10
Diseño del circuito	19-Jul-21	21-Jul-21	3
Escalabilidad	22-Jul-21	28-Jul-21	5
Comunicación del sistema	29-Jul-21	30-Jul-21	2
Sprint 3	2-Aug-21	13-Aug-21	10
Interfaz	2-Aug-21	6-Aug-21	5
Suministro de agua	9-Aug-21	11-Aug-21	3
Información del cultivo	12-Aug-21	13-Aug-21	2
Sprint 4	16-Aug-21	27-Aug-21	10
Datos de sensores	16-Aug-21	17-Aug-21	2
Análisis de datos	18-Aug-21	19-Aug-21	2
Etapas de crecimiento	20-Aug-21	27-Aug-21	6
Sprint 5	30-Aug-21	10-Sep-21	17
Fuente de energía	30-Aug-21	31-Aug-21	2
Cantidad de agua	1-Sep-21	3-Sep-21	3
Pruebas de funcionamiento	5-Sep-21	10-Sep-21	5

Después de generar el cronograma, se iniciaron las actividades, empezando por realizar una investigación para determinar el agua requerida para un cultivo de maíz en la finca, para ello se buscó un especialista en el área de agricultura.

Dicho especialista proporcionó un programa diseñado específicamente por la FAO llamado “Cropwat 8.0” para el cálculo de la Evapotranspiración (ET_o), que tal como se muestra en (1), se define como la pérdida de agua del suelo mediante evaporación y la pérdida de agua a través de la transpiración de la planta; y una hoja de cálculo en Excel donde a través del ET_o, el Coeficiente de cultivo (Kc) mensual, y datos climáticos permitió obtener como resultado la demanda de agua para el cultivo de maíz.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

donde:

- ET_o evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- R_n radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- G flujo del calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T temperatura media del aire a 2m de altura (°C)
- u₂ velocidad del viento a 2m de altura (m s⁻¹)
- e_s presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

TABLA VII
DATOS METEOROLÓGICOS

Mes	Temp Mínima	Temp Máxima	Humedad	Viento	Insolación	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	mm/día
Enero	19.7	29.9	75	5	6.0	5.02
Febrero	20.7	30.2	77	5	5.4	4.75
Marzo	20.4	30.1	78	5	5.4	4.64
Abril	18.6	29.0	79	5	6.3	4.41
Mayo	17.0	27.3	80	5	6.7	3.97
Junio	15.1	25.8	81	5	6.2	3.49
Julio	13.8	24.7	82	5	6.2	3.31
Agosto	13.7	24.8	81	5	6.4	3.61
Sep	14.4	25.7	79	6	6.6	4.16
Oct	15.0	26.3	77	7	6.6	4.55
Nov	15.7	27.1	76	6	6.9	4.79
Dic	17.7	28.7	76	6	6.8	5.00
Media	16.8	27.5	78.0	5	6.3	4.31

Para usar el programa Cropwat se buscaron los datos meteorológicos de la estación meteorológica más cercana que fue Talla (Guadalupe), de la cual se obtuvieron datos de los años 2017-2018 y se registraron, así como se muestra en la “Tabla VII”. Mediante el uso del programa Cropwat y la hoja de cálculo proporcionada por el especialista, se determinó la

cantidad de agua óptima para el riego de los cultivos de maíz durante los meses de enero a marzo, lo que se muestra a continuación en la Tabla VIII.

TABLA VIII
RESULTADOS DE LA HOJA DE CÁLCULO DEL PRIMER TRIMESTRE

PARÁMETRO	UNIDAD	ENE	FEB	MAR
1. Evapotranspiración Potencial	(mm/día)	5.02	4.75	4.64
2. Kc ponderado		0.30	0.80	1.20
3. Evapotranspiración Real o Uso consuntivo (1*2)	(mm/día)	1.51	3.80	5.57
4. Precipitación Efectiva	(mm/día)	0.00	0.00	0.00
5. Déficit de Humedad (3-4)	(mm/día)	1.51	3.80	5.57
6. Eficiencia de riego	(%)	0.90	0.90	0.90
7. Número de horas de jornada diaria de riego	hr	8.00	8.00	8.00
8. N° días del mes	(días)	31.00	28.00	31.00
9. Requerimiento de agua (5/6)	(m3/ha/día)	16.73	42.22	61.87
10.-Área total	has	4.00	4.00	4.00
11.- Total demanda de agua	lts/seg	2.32	5.86	8.59

Posteriormente, se elaboró un diagrama de casos de uso, mostrado en la Fig. 1, donde se puede observar las acciones que realizaría el sistema. Asimismo, se procedió a realizar una especificación del caso de uso y su respectivo diagrama, los cuales permitieron tener una guía para la elaboración del diseño final.

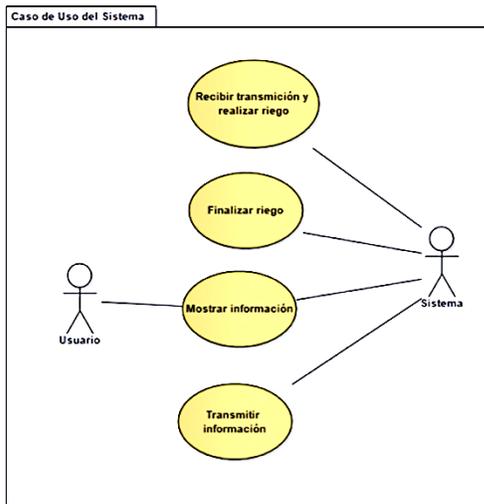


Fig. 1 Caso de uso del sistema

Después, se procedió con el diseño del circuito para el sistema en el programa Proteus, se realizaron algunas búsquedas de librerías necesarias para la realización del diseño. El diseño sufrió cambios menores a lo largo de esta fase y se obtuvo como resultado final lo siguiente:

Módulo secundario

Para cubrir cada hectárea de cultivo de maíz se planteó dividirla en 4 sectores (A, B, C y D), los cuales comprenden ¼ de hectárea, cada uno controlado por un módulo secundario, mostrado en la Fig.2, que se encarga de recolectar los datos de lluvia y humedad de suelo. Una vez recolectado envía una cadena de datos al módulo principal mediante un módulo de bluetooth para solicitar el riego en el sector que le corresponde.

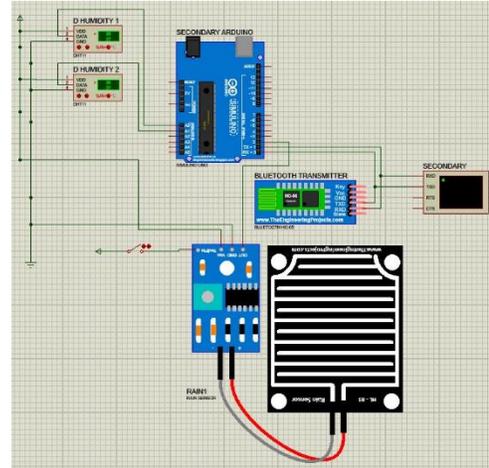


Fig. 2 Módulo secundario

Módulo principal

Se aprecia el diseño realizado para el módulo principal del circuito, mostrado en la Fig.3, el cual se encarga de recibir las cadenas de datos de los otros módulos secundarios repartidos

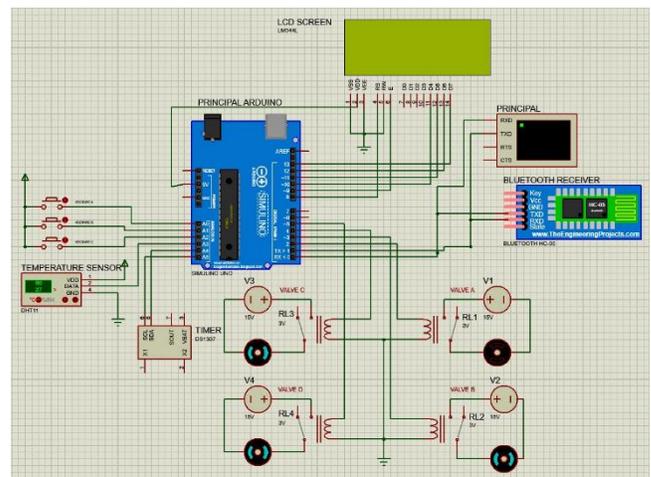


Fig. 3 Módulo principal

en la hectárea de cultivo haciendo uso del módulo de bluetooth. Este Arduino UNO controla la salida del agua a través de válvulas solenoides, además muestra en una pantalla aquellos sectores del terreno que están siendo regados en el momento.

Luego de culminar el diseño y programación del sistema se procedió a realizar una simulación para ver el posible funcionamiento del sistema una vez implementado.

Caso de prueba

TABLA IX
DATOS DEL CASO DE PRUEBA

Arduino secundario			Arduino principal
Sector	Humedad promedio	Lluvia	Cadena anterior registrada
D	67%	Sin lluvia	DNS90

A partir de la Tabla IX se puede determinar que el Arduino principal abrirá la válvula de agua del sector D ya que la humedad es baja y se solicitó riego, mientras que las válvulas de agua de los sectores A, B y C se mantendrán cerradas, hasta recibir una petición de riego.

Una vez elaborada la tabla y el resultado esperado, se procedió a ingresar los datos a los sensores de humedad, lluvia para empezar la simulación, como se muestra en la Fig. 4.

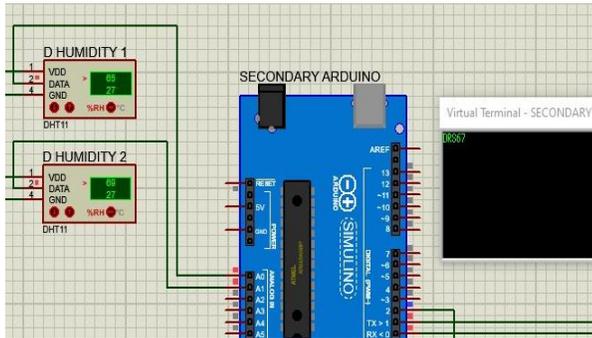


Fig. 4 Datos ingresados y cadena resultante

Una vez iniciada la simulación se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación, en la Fig. 5.

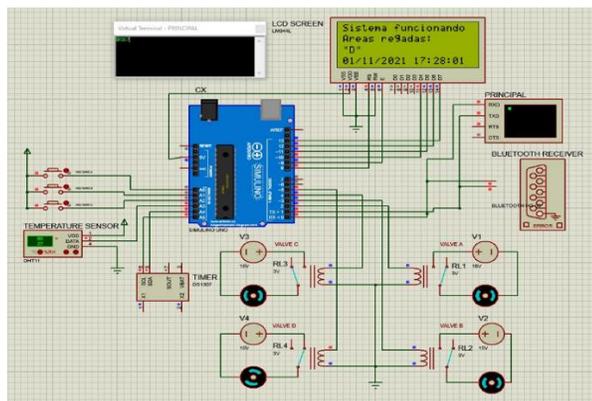


Fig. 5 Resultado de la prueba

Se puede ver en la Fig. 5 que el sistema muestra que se abrió la válvula del sector D, asimismo el sistema muestra en consola la cadena recibida del módulo secundario y en la

pantalla LCD se puede ver la hora actual del sistema y el sector que está siendo irrigado.

Finalmente, para visualizar la eficiencia que tendría el sistema se elaboró una tabla donde se muestra la cantidad de litros que consume el sistema de riego actual que manejan en la finca y el sistema de riego propuesto.

TABLA X
LITROS DE AGUA CONSUMIDOS POR CADA SISTEMA

Litros de agua consumidos			
	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Sistema de riego actual	311040 L/sem	414720 L/sem	518400 L/sem
Sistema de riego propuesto	117110 L/sem	295540 L/sem	433090 L/sem

Para calcular el consumo de agua del sistema de riego actual se tomó en cuenta la potencia del motor, el tiempo en funcionamiento del motor, la cantidad de hectáreas regadas y el número de riego semanales. Con base en esto, se hicieron unos cálculos que permitieron obtener la cantidad de litros consumida por semana para este sistema de riego.

Por otro lado, para obtener el consumo del sistema de riego propuesto se tomó en cuenta la cantidad diaria de agua suministrada a una hectárea. Con este valor se obtuvo la cantidad de agua aproximada que gastaría el sistema propuesto en una semana.

A partir de la Tabla X, se elaboró un gráfico (Fig. 6), el cual permite visualizar mejor la diferencia del consumo de agua entre ambos sistemas.

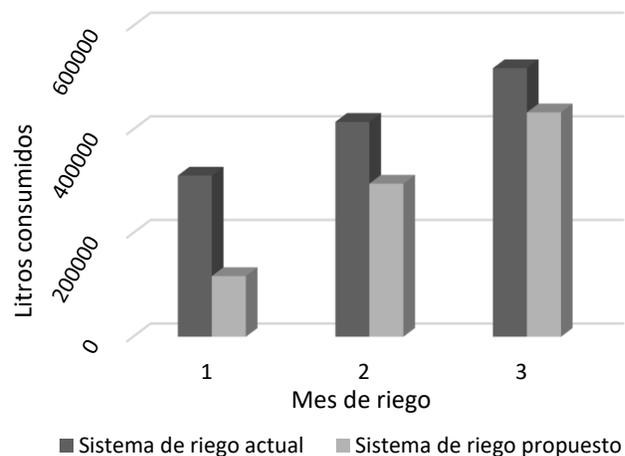


Fig. 6 Comparación de cantidad de agua en litros consumida por cada sistema

Cabe mencionar que para hacer los cálculos de las cantidades de agua consumida por el sistema de riego actual se

tomó en cuenta la información del cronograma de riego que siguen los agricultores y para el sistema de riego propuesto se realizó un cálculo aproximado teniendo en cuenta la lógica programada para el sistema de riego. Para los cálculos, se usó (2).

$$L/ha = \frac{L/seg \text{ del motor } \times N^{\circ} \text{ horas de riego}}{N^{\circ} \text{ de hectáreas}} \quad (2)$$

Para finalizar, se debe mencionar que, de implementarse el sistema a través del diseño presentado, este permitiría reducir la cantidad de agua que se desperdicia gracias al tipo de riego usado y alargando el tiempo de vida de la fuente subterránea de la cual se extrae el agua.

V. DISCUSIÓN

Basado en el análisis hecho en el sistema de riego usado, se determinó que éste consume una cantidad de agua excesiva debido a la falta de control en el método de riego empleado, esto coincide con la investigación de Fuentes [14], donde se aplicaron encuestas a un cierto número de hectáreas que permitieron analizar la productividad y la economía; factores que fueron afectados por el consumo de agua, el cual varió de acuerdo con el sistema de riego implementado. Si bien es cierto que dichos sistemas de riego como el de goteo eran mucho más costosos, éstos daban una mayor ganancia neta al tener un mejor control del agua obteniendo un mejor rendimiento y generando mayores ingresos económicos. Además, se observó que los agricultores entrevistados, dependían de cada uno de sus sistemas de acuerdo con su nivel tecnológico para una mejor gestión del recurso hídrico.

También en la investigación de Sifuentes, et al, [15], donde se analizó un problema ya definido por investigaciones anteriores; se tomaron datos históricos del clima y se procedió a realizar una simulación con el programa IrriModel 2.0 con el fin de dar solución al problema. Por el contrario, para realizar la presente investigación, se partió de un problema aún no definido, para ello se realizaron entrevistas a los trabajadores del lugar, de manera que se identificó el problema y a partir de éste se propuso una posible solución, un sistema de riego automatizado que toma decisiones en cuanto al riego basándose en los datos ambientales que recolecta continuamente.

Resultados similares también fueron observados en la investigación de Salinas [16], en la que se aplicó una combinación de las metodologías SCRUM y XP para realizar la gestión del proyecto, sin embargo, en dicha investigación no fue tomado en cuenta el sub eje temático Sprint Review, perteneciente a la metodología SCRUM; y pese a ello obtuvieron un resultado favorable. De esta forma podemos comprobar que SCRUM se puede adaptar a las necesidades de cada proyecto al obviar algunos de sus sub ejes temáticos.

A pesar de que, para la presente investigación sólo se diseñó una propuesta, a partir de los resultados ya mencionados podemos inferir el impacto de los sistemas de riego automatizados desarrollados con la metodología SCRUM, esto también puede apreciarse en los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas que se mostraron previamente.

VI. CONCLUSIONES

Se puede concluir que fue posible analizar el consumo de agua en cultivos de maíz en una granja agrícola en 2021. A través del análisis se encontraron 2 principales deficiencias que fueron una fuente de agua limitada y el consume excesivo de la fuente; estas corresponden a las dimensiones “Disponibilidad del recurso hídrico” y “Demanda Insatisfecha”. Estos problemas se debían al tipo de riego que manejan, que era de un bajo nivel tecnológico y no alcanzaba los niveles de eficiencias necesarios para evitar el derroche hídrico.

Se determinaron aquellos aspectos teóricos de la metodología SCRUM los cuales se pudieron conceptualizar para la propuesta de un diseño de un sistema de riego automatizado en una finca agrícola en Chepén en el año 2021. Estos aspectos pertenecen a los ejes temáticos “Roles”, “Eventos” y “Artefactos”, los cuales se tomaron en consideración debido a la problemática identificada en la fase de diagnóstico. No obstante, no se consideraron los “Daily Scrums”, perteneciente al eje temático “Eventos”, debido a la dificultad de los usuarios para reunirse, esto debido a las restricciones por estado de emergencia debido a la pandemia ya que los investigadores se encontraban en distintas provincias y contaban con diferentes horarios de disponibilidad.

Se realizó y propuso el diseño de un sistema de riego automatizado para una finca agrícola en Chepén en el año 2021. El desarrollo del proyecto tomó 3 meses y se acopló a los sub ejes temáticos tomados en cuenta de la metodología SCRUM, de forma que los tiempos, los avances y el equipo estuvieran mejor gestionados permitiendo así realizar la propuesta de una manera más ordenada. A partir del caso de prueba y los valores de consumo de agua obtenidos para cada sistema de riego, se comprobó que la propuesta elaborada es factible y una opción viable para gestionar el recurso hídrico en los cultivos de maíz en una finca agrícola.

AGRADECIMIENTO

Primero, a los investigadores les gustaría agradecer al señor Carlos, dueño de la finca quien proveyó todos los datos del lugar, al Agrónomo Walter Ramírez, especialista en riego controlado por su guía en el área, y finalmente a todas las personas que apoyaron de forma indirecta al desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] P. Steduto, et al, “Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO)”, spa no. 66, 2012.
- [2] J. Chura Chuquiya, and J. Tejada Sorraluz, “Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú”, *Idesia (Arica)*, 32(1), 113-118, 2014.
- [3] C. Mendoza Pérez, C. Ramírez Ayala, H. Flores Magdaleno, E. Sifuentes Ibarra, and J. Macías Cervantes, “Uso de programa Irrimodel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”, *Agroproductividad*, 11(1), 49–55, 2018.
- [4] M. A. Nieves Martínez, and H. Flores Gallardo, “Parametrización de un modelo integral para el pronóstico del riego en maíz (*zea mays l.*) cultivado en el distrito de riego 052 “durango””, III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII, 2017.
- [5] MASHAV, “La Implementación del Fertirriego en la Agricultura Intensiva. Israel: Agencia Israelí de Cooperación Internacional para el Desarrollo Ministerio de Relaciones Exteriores”, 2015.
- [6] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “El riego tecnificado en pequeñas y medianas unidades agropecuarias creció 2,2 puntos porcentuales en el año 2016”, 2017. [Online]. Available: <https://www.inei.gob.pe/>. [Accessed: August 3, 2021.]
- [7] Gobierno del Perú. “Documento de Análisis Económico – 2019”, 2019.
- [8] Gobierno Regional de La Libertad. “Mejoramiento del servicio de agua para riego de los canales Chepén alto, Lurífico y Cerrillo en el distrito de Chepén, Chepén, La Libertad”, 2020.
- [9] N. Zapata, et al, “Autoprogramadores para coberturas de riego por aspersión. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón”, 2012.
- [10] G. Rueda, et al, “Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un microinvernadero aplicado al cultivo de Albahaca”, *Research in Computing Science*, 147, 93-103, 2018.
- [11] J. Parada, y J. Carrillo, “Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles”, *Renovat: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, (1), 138-160, 2014.
- [12] C. Mendoza, et al, “Uso de programa Irrimodel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”, *Agroproductividad*, 11(1), 49–55, 2018.
- [13] T. Turiján, et al, “Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1085-1100, 2012.
- [14] L. Fuentes, “Estrategia productiva y económica de agricultores de pequeña escala de acuerdo al sistema de riego utilizado: El caso de Honduras”, 2011.
- [15] E. Sifuentes, et al, “Riego por goteo en el cultivo de maíz manejado con TIC’S en Sinaloa: sustentabilidad y rentabilidad. CD Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación, Puerto Vallarta, Jalisco, México. NUS044”, pp. 1-9, 2013.
- [16] R. Salinas, “Diseño de un prototipo de sistema automatizado con Arduino para riego en el cultivo de fresas”, 2018.