

Smart Irrigation System with Renewable Energy in the Water Control and Corn Growth

Hans Nolazco Díaz, Bachelor¹, Rolando Berrú Beltrán, Master¹, and Wilder Moreno Zavaleta, Bachelor¹

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, kenedy.97_nd@hotmail.com, rolando.berru@upn.edu.pe, w_moreno_96@hotmail.com

Abstract– The present research work was carried out with the objective of determining the influence of an intelligent irrigation system with renewable energy on the water control and maize growth, in the town of Callancas, Otuzco in 2019.

The type of study was quasi-experimental with non-equivalent control group, with two samples consisting of 56 maize plants each. Data collection was done using observation sheets. For the data analysis was used the Z Test and the XLSTAT software, which facilitated the data interpretation and the graphs elaboration.

The dimension included in the water control is the volume of water consumption and in the maize growth is the maize growth rate. The results obtained evidenced that in the water control was an improvement of 75.6% and that the maize growth improved in a 9.6% compared with the groove irrigation.

Based on the mentioned previously, we can conclude that indeed the intelligent irrigation system with renewable energy had a positive influence on water control and maize growth.

Keywords-- Intelligent irrigation system with renewable energy, drip irrigation, embedded systems, solenoid valves, humidity sensors, rain sensor.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.150>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Sistema Inteligente de Riego con Energía Renovable en el Control de Agua y el Crecimiento del Maíz

Hans Nolazco Díaz, Bachiller¹, Rolando Berrú Beltrán, Magíster¹, and Wilder Moreno Zavaleta, Bachiller¹

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, kenedy.97_nd@hotmail.com, rolando.berru@upn.edu.pe, w_moreno_96@hotmail.com

Resumen— El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de determinar la influencia de un sistema inteligente de riego con energía renovable en el control del Agua y crecimiento del maíz, en la localidad de Callancas, Otuzco en el año 2019.

El tipo de estudio fue cuasi experimental con grupo de control no equivalente, con dos muestras constituidas por 56 plantas de maíz cada una. La recolección de datos se realizó mediante el uso de hojas de observación. Para el análisis de datos se utilizó la Prueba Z y el software XLSTAT, lo que facilitó la interpretación de datos y realización de gráficos.

La dimensión comprendida en el control del agua es el volumen de consumo de agua, y en el crecimiento del maíz es la tasa de crecimiento del maíz. Los resultados obtenidos demostraron que en el control del agua hubo una mejora del 75,6% y que el crecimiento del maíz mejoró en un 9,6% comparado con el riego por surco.

En base a lo mencionado anteriormente, podemos concluir que efectivamente el sistema inteligente de riego con energía renovable tuvo una influencia positiva en el control del agua y crecimiento del maíz.

Palabras clave— Sistema inteligente de riego con energía renovable, riego por goteo, sistemas embebidos, electroválvulas, sensores de humedad, sensor de lluvia.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 1900 se ha perdido aproximadamente entre el 64% y el 71% de la superficie mundial de humedales naturales como consecuencia de las actividades humanas. Estos cambios han impactado negativamente en la hidrología a nivel local, regional y global [1]. El 22 de marzo de 2018, coincidiendo con el Día Mundial del Agua, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) puso en marcha una década de acciones que tienen como objetivo evitar una “crisis global” del agua. Este programa pretende lograr que se preste mayor atención a dicho problema, según la organización es uno de los más grandes que se está enfrentando en el mundo entero, y busca que se impulsen medidas que permitan una mejor gestión de los recursos hídricos [2].

La agricultura es el sector que representa la mayor cantidad de consumo de agua a nivel mundial, aproximadamente el 70% de las extracciones hídricas están relacionadas con esta labor, de lo cual la gran mayoría son destinadas para el riego [1]. El uso global del agua ha aumentado considerablemente en los últimos años y sigue creciendo con una tasa aproximada de 1% por año. Debido a esto, más de 2 000 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más de 4 500 millones carecen de servicios de saneamientos adecuados. Se considera

que la demanda del agua aumentará a casi un tercio para el año 2050 por lo que al menos 1 de cada 4 personas vivirá en un país donde carecerá de agua [1].

El maíz es uno de los productos más cultivados en todo el mundo. Sin embargo, durante la etapa de desarrollo muchas plantas son afectadas por la deficiencia de oxígeno; este efecto es causado por la inundación, el cual reduce el crecimiento e induce a la muerte de células y tejidos de las plantas [3]. Pero no solamente la inundación afecta al crecimiento del maíz, la sequía es otro factor que altera su desarrollo y producción, donde aproximadamente el 80% de un área sembrada es afectada, a partir de esto se puede calcular que debido al estrés hídrico causado por la sequía se reduce su rendimiento entre el 10% y el 50% [4].

Se estima que en Perú discurre el 5% del agua dulce disponible a nivel mundial, lo cual vendría a ser aproximadamente 2 millones de metros cúbicos. Sin embargo, el crecimiento de la población juntamente con las actividades económicas viene afectando a los recursos hídricos debido al uso inadecuado del agua, la producción y manejo inapropiado de los residuos y aguas residuales [5].

Además, las fuentes de recursos hídricos en el Perú cada vez son más vulnerables y están amenazadas por la mala administración, mientras que la demanda de agua cada vez es mayor. Es por ello que el Perú cuenta con la Ley N°29338 – Ley de Recursos Hídricos, la cual regula el uso y gestión del agua. En dicha ley se considera que este recurso es indispensable para la vida y el desarrollo sostenible [6].

La región de La Libertad está teniendo cada vez más áreas de cultivo que contribuyen a su economía. No obstante, al ser suelos arenales demandan de una mayor cantidad de agua para los riegos; pero este recurso está siendo afectado por el cambio climático, la deforestación, la contaminación, la mala distribución y gestión del agua; y esto hace que cada vez sea más escaso. Uno de los principales problemas se encuentra en las malas prácticas de riego agrícola por la falta de uso de tecnología adecuada [7].

En cuanto al cultivo de maíz en Perú, en el año 2017 su producción totalizó 108 739 toneladas; esta cifra significó un incremento del 37,4% comparado con la producción del año 2016 [8]. En el 2018, el desarrollo vegetativo del maíz en las provincias de Cajamarca, Cajabamba, Celendín y San Miguel;

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.150>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

se vio favorecido por el exceso de lluvias e incremento mínimo de las temperaturas [9].

En este trabajo se desarrolla un sistema inteligente de riego con energía renovable, el cual obtiene datos reales a través de sensores de humedad y de lluvia, para realizar el riego del maíz de manera automatizada; con este sistema se pretende reducir el consumo de agua y obtener mejores resultados durante el crecimiento del maíz.

Los métodos más utilizados para el riego de las plantas son por inundación y por surco, esto se debe al bajo costo que tienen en su implementación. Sin embargo, estos dos métodos son muy ineficientes puesto que generan grandes desperdicios de los recursos hídricos y solo un porcentaje menor es aprovechado por las plantas. El riego por inundación representa grandes pérdidas de agua debido a la manera como ésta se distribuye por el área de cultivo que muchas veces es dispareja y la cantidad de agua que llega a la gran mayoría de plantas es baja o nula mientras que para otras puede llegar a ser excesiva. De manera similar, en el riego por surco su eficiencia puede llegar a ser tan baja incluso hasta menos del 40%, es decir que menos de la mitad de toda el agua asignada es aprovechada por las plantas. [10]

El crecimiento del maíz se ve afectado principalmente por la mala distribución de los recursos hídricos, teniendo en cuenta que en la localidad de Callancas el agua destinada para el riego es escasa. Los agricultores de dicho lugar realizan el riego del maíz cada 8 días, debido a que todos los miembros del sector se turnan para utilizar el agua que es extraída desde un río; pero durante este tiempo las plantas llegan a sufrir estrés hídrico causado por la sequía y esto se puede notar especialmente en el crecimiento temprano del maíz que es cuando el tallo muchas veces se marchita.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Sistema inteligente de Riego con energía renovable

Un sistema de riego es un conjunto de estructuras que tienen el propósito de llevar agua a una determinada área de cultivo. Asimismo, está conformado por varios componentes dependiendo del tipo de riego ya sea superficial, por aspersión o por goteo. Además, necesita energía para que el sistema pueda ser controlado, para esto se utiliza aerogeneradores que captan la fuerza del viento y paneles solares que captan la energía del sol para almacenarla en una batería. Esta teoría está basada en los conceptos de Cadena [11] y Twenergy [12].

B. Control del Agua

El control del agua significa aprovechar mejor el recurso hídrico y asegurar una mayor eficiencia en su uso, es decir, usar menos agua para producir más. Por eso se debe aplicar cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza. Una medida de uso eficiente de los recursos hídricos es una práctica que favorece el mantenimiento o el mejoramiento de la calidad del agua [13].

C. Crecimiento del maíz

El crecimiento del maíz se define como un aumento en su tamaño. El incremento de la altura de la planta se produce mediante condiciones de crecimiento favorables (humedad, nutrientes, temperatura adecuada, etc.) y disminuye mediante condiciones de crecimiento estresantes (temperaturas anormales, deficiencias en nutrientes, humedad, etc.) [14].

III. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar la influencia de un sistema inteligente de riego con energía renovable en el control del agua y crecimiento del maíz, en la localidad de Callancas - Otuzco en el año 2019.

B. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del sistema inteligente riego con energía renovable en el volumen de consumo del agua en cada planta de maíz.
- Calcular la influencia del sistema inteligente de riego con energía renovable en la tasa de crecimiento de cada planta de maíz.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de carácter Experimental de grado Cuasi-Experimental con grupo de control no equivalente, el cual incluye dos grupos; a un grupo se le aplica el experimento y al otro no se le aplica. La unidad de estudio está conformada por la planta de maíz y la población la constituyen todas las plantas de las parcelas de cultivo de maíz de la localidad de Callancas en la provincia de Otuzco. La muestra se conforma por todas las plantas de maíz de una parcela. En este estudio solamente se seleccionó una parcela para la implementación del sistema. La cantidad de plantas que conforman la muestra son 112, de las cuales a 56 plantas se les aplicó el riego con el sistema inteligente, mientras que a las otras 56 plantas restantes se realizó el riego por el método tradicional.

V. METODOLOGÍA

Luego de haber investigado varias metodologías para la implementación del sistema inteligente de riego con energía renovable, se eligió la metodología de diseño para sistemas embebidos la cual está conformada por 7 macroprocesos que se mencionan a continuación: administración del ciclo de vida, análisis y diseño, desarrollo de hardware, desarrollo de software, integración y pruebas, administración del producto, y manufactura en serie. En la tabla 1 se muestran los macroprocesos con sus principales procesos.

TABLA 1
MACROPROCESOS DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA
SISTEMAS EMBEBIDOS

| ITEM | MACROPROCESOS |
|------|---|
| 1 | Macroproceso 1: Administración del ciclo de vida Administra el ciclo completo del sistema embebido desde su concepto hasta la producción en serie del producto. |
| 2 | Macroproceso 2: Análisis y diseño - Especificaciones de requerimientos del sistema, software y hardware. - Arquitectura del sistema, software y hardware. - Diseño de alto nivel para software y hardware. |
| 3 | Macroproceso 3: Desarrollo de hardware - Diseño de hardware: modelado, síntesis y físico. - Semiconductores: Processor core (microprocessor, microcontrollers), System-on-a-Chip processor (SoC), Field programmable Gate Array (FPGA), Application-Specific Integrated Circuit (ASIC), Digital Signal Processor (DSP). - Estándares del Hardware: Network Systems (HW), Electronic Control Unit (ECU), buses, sensores, actuadores. - Prototipo de hardware: PCB (Printed Circuit Board), construcción del prototipo, case enclosure, verificación y pruebas, diseño del reúso. |
| 4 | Macroproceso 4: Desarrollo de software - Estándares del software: sistema operativo, middleware, firmware. - Software de aplicación: modelado, generación de código, prototipo, verificación y pruebas, diseño de reúso. |
| 5 | Macroproceso 5: Integración y pruebas - Prototipo del sistema embebido: integración de software y hardware, prueba y validación, estabilización y mantenimiento. |
| 6 | Macroproceso 6: Administración del producto - Producto del sistema embebido: certificaciones, propiedad intelectual, liberación del producto, administración del producto. |
| 7 | Macroproceso 7: Manufactura en serie - Producción: capacidad técnica del proveedor, calidad y madurez de procesos, entrega y validación, implementación en serie. |

Elaboración propia de los autores

A. Macroproceso 1: Administración del ciclo de vida

Esta etapa se desarrolló a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, debido a que es la encargada de la administración de las demás etapas; por lo tanto, al cumplir con las demás etapas, se cumple también con esta etapa.

B. Macroproceso 2: Análisis y diseño

Se realizó un análisis de los requerimientos y el diseño del sistema para lo cual se cumplió con los 3 procesos: especificación de requisitos, arquitectura y diseño.

1. Especificación de requisitos

Se realizó el análisis de los requisitos del sistema, en la siguiente tabla 2 se muestran los requisitos funcionales y no funcionales.

TABLA 2
ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS

| ITEM | REQUISITOS FUNCIONALES |
|------|--|
| 1 | Realizar el riego de acuerdo con el modo de funcionamiento que seleccione el usuario (modo manual y modo automático) |
| 2 | Mostrar al usuario los valores obtenidos por los sensores de humedad y de lluvia. |
| 3 | Tener un modo de funcionamiento manual para que el usuario opere a cada electroválvula del sistema. |
| 4 | El sistema debe apagarse cuando el sensor de lluvia detecte que está lloviendo. |
| 5 | El sistema inteligente debe iniciar el riego cuando los sensores detecten que el suelo está seco y debe detener el riego cuando los sensores detecten que la humedad es la adecuada. |
| 6 | El sistema debe estar alimentado por energía renovable. |
| ITEM | REQUISITOS NO FUNCIONALES |
| 1 | El sistema debe ser rápido capturando los datos de los sensores. |
| 2 | Las interfaces del sistema deben tener una letra visible y clara para el usuario. |
| 3 | El hardware debe ser rápido con la ejecución del programa. |
| 4 | La pantalla táctil debe responder rápido a las interacciones que el usuario realiza en la interfaz. |

Elaboración propia de los autores

2. Arquitectura

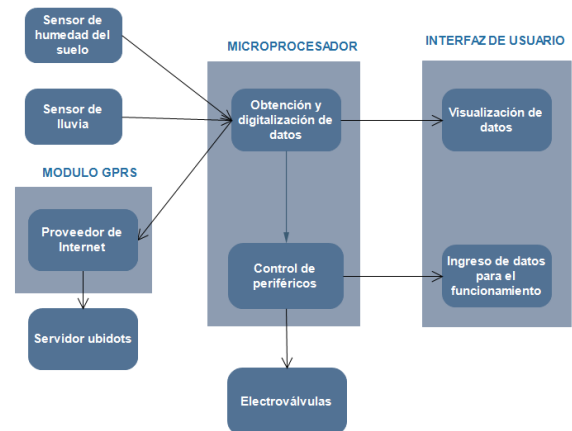


Fig. 1 Arquitectura del sistema

Elaboración propia de los autores

3. Diseño

En la figura 2 se muestra el diseño del sistema inteligente de riego con todos sus componentes. El sistema está conformado por un suministro de electricidad que utiliza energía eólica y solar mediante los cuales se recarga una batería que alimenta a los circuitos y dispositivos del sistema. También, cuenta con un módulo de control que se compone por una pantalla táctil desde la cual se puede activar los modos de funcionamiento del sistema, monitorear los valores de los sensores y activar o desactivar las válvulas.

Además, el sistema está conformado por tuberías que se encargan de conducir el agua hasta la planta y de sensores de humedad para monitorear la humedad del suelo y sensor de lluvia para saber cuándo está lloviendo. El sistema también tiene un dispositivo proveedor de internet el cual permite que el módulo de control pueda subir los datos al servidor de ubidots para que estos puedan ser visualizados en tiempo real desde una página web usando una computadora o dispositivo móvil.

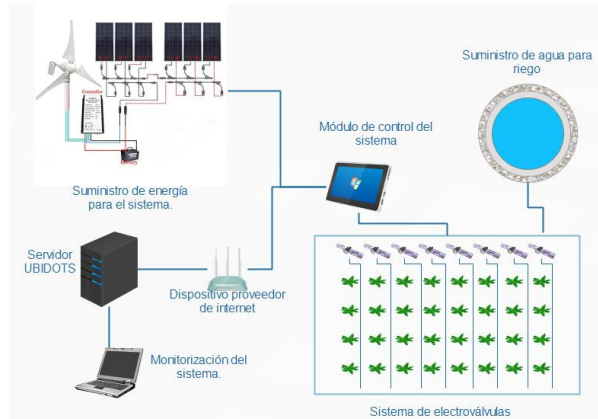


Fig. 2 Diseño del sistema inteligente de riego
Elaboración propia de los autores

C. Macroproceso 3: Desarrollo de hardware

En este macroproceso se desarrollaron los procesos que más se adaptan al sistema realizado, esto se debe a que la metodología de sistemas embebidos permite esa flexibilidad de elegir los procesos que uno considere necesarios. A continuación, se describe lo realizado.

1. Estándares del hardware

1.1. Electronic Control Units (ECU)

El sistema utiliza una unidad de control electrónico que viene a ser un Arduino Mega AT2560 el cual contiene la programación y lógica para el funcionamiento del sistema.

1.2. Sensores

El sistema cuenta con dos tipos de sensores: sensores de humedad que se encargan de monitorear la humedad del suelo y estado de riego, y un sensor de lluvia que verifica si está lloviendo o no, y de acuerdo con ello realiza el riego.

1.3. Actuadores

Este sistema está constituido por 5 tipos actuadores principales: Electroválvulas 12V DC que son las encargadas de controlar el paso del agua por los tubos PVC, un motor AC y 2 paneles solares que son los encargados de suministrar la energía eléctrica para los circuitos, una pantalla TFT LCD 3.5 pulgadas que es la encargada de mostrar la interfaz gráfica del sistema para ver los

datos de los sensores y controlar las electroválvulas, un módulo GPRS SIM900 que es el encargado de proveer internet al sistema para subir datos a la nube, y los relés de 12V DC que son los que ayudan al Arduino para encender y apagar a las electroválvulas.

2. Prototipado de hardware

En este proceso se muestra como está implementado el hardware del sistema, la manera en que están conectados los sensores de humedad y el sensor de lluvia al Arduino Mega, la pantalla TFT, la conexión con los Relés y las electroválvulas, y la conexión de la batería para alimentar a los circuitos. En la Figura 3 se muestra el prototipo del hardware.

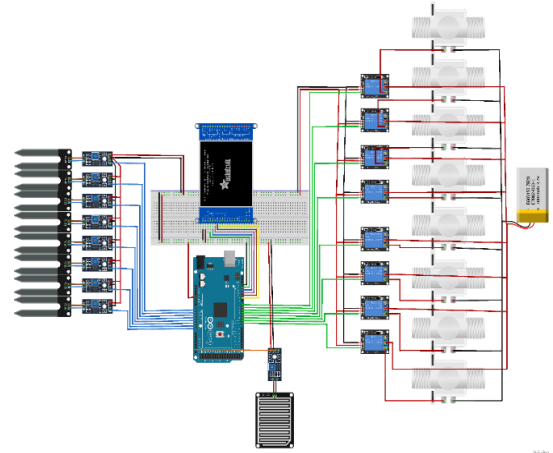


Fig. 3 Prototipado de hardware
Elaboración propia de los autores

D. Macroproceso 4: Desarrollo de software

Se desarrolló el proceso de software de aplicación el cual describe 3 subprocessos principales.

1. Modelado

Se implementó los casos de uso para el sistema, que describen la manera como interactúan el sistema y el usuario para realizar sus actividades. En la figura 4 se muestran los casos de uso.

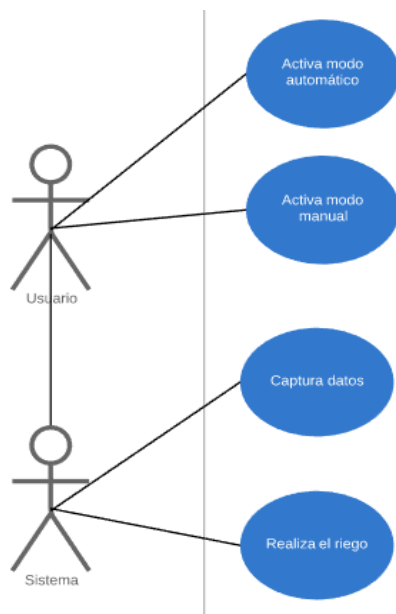


Fig. 4 Casos de uso
Elaboración propia de los autores

2. Generación de Código

Se implementó el código que permite al Arduino leer los datos de los sensores, mostrarlos en la pantalla TFT y subirlos al servidor de ubidots. Además, el Arduino puede tomar la decisión de encender o apagar las electroválvulas de acuerdo con los valores que se obtienen mediante los sensores. Cuando el sensor de lluvia tiene un valor mayor o igual al 20% (valor aproximado) significa que está lloviendo y se apagan todas las electroválvulas para detener el riego; se considera que si el valor es más bajo puede ser que sea solamente la temperatura del ambiente que esté un poco húmedo y se toma en cuenta los valores de los sensores de humedad para realizar el riego o detenerlo. Cuando los sensores de humedad presentan valores menores al 24% significa que el suelo está casi seco, por lo tanto, se encienden las electroválvulas para realizar el riego hasta que el valor llegue al 60% que indica que el suelo ya está bastante mojado, entonces se detiene el riego.

3. Prototipo

Se elaboró el diseño de las interfaces gráficas del sistema que serán mostrados en la pantalla TFT desde las cuales el usuario puede interactuar con el sistema. En la figura 5 se muestra el prototipo del menú principal de la pantalla.

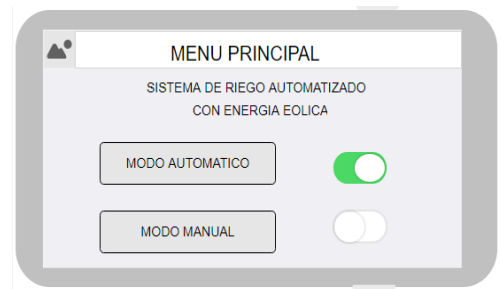


Fig. 5 Prototipo del menú principal de la pantalla
Elaboración propia de los autores

E. Macroproceso 5: Integración y pruebas

En este macroproceso se cumplió con las especificaciones del diseño y requisitos planteados, se realizó la construcción del sistema para tener algo funcional y no solamente la planificación. Para esto se cumplió con el proceso de prototipo del sistema embebido, que cuenta con 3 componentes que se describen a continuación.

1. Suministro de energía renovable

Este componente está conformado por un híbrido entre un generador de energía eólica y 2 paneles solares pequeños, esto es con la finalidad de garantizar que la energía nunca falte a pesar de que el clima pueda cambiar.

2. Módulo de control y electroválvulas

Se realizaron las conexiones de todos los componentes electrónicos que conforman el sistema según el diseño en el prototipo de hardware. Todos los componentes se conectan al Arduino porque es el componente que contiene la lógica del funcionamiento y toma las decisiones para que funcione el sistema correctamente.

3. Software

Se desarrolló la programación del módulo Arduino para leer los datos de los sensores y tomar decisiones de acuerdo con los valores obtenidos. Además, se programó el módulo GPRS SIM900 para subir los datos al servidor de ubidots, y la pantalla TFT LCD para mostrar los datos de los sensores.

F. Macroproceso 7: Manufactura en serie

Se efectuó el proceso de producción del sistema poniéndolo en marcha en el campo de cultivo donde se realizó el estudio. A continuación, se presentan los pasos para la implementación en serie del sistema.

1. Instalación

Se instalaron los componentes del sistema inteligente de riego uniendo las partes de hardware para conectarlas con el software. El suministro de energía

renovable se conectó a la batería, la cual se unió con el Arduino y las electroválvulas para brindarles la energía que necesitan. La pantalla TFT LCD se conectó al Arduino para poder visualizar los datos que se obtengan de los sensores y poder interactuar con el sistema. Los tubos fueron instalados en el campo de cultivo para que puedan conducir el agua a cada planta, y en el extremo de cada tubo se ubicaron las electroválvulas para abrir y cerrar el paso del agua. En la figura 6 se muestra la instalación del módulo de control.

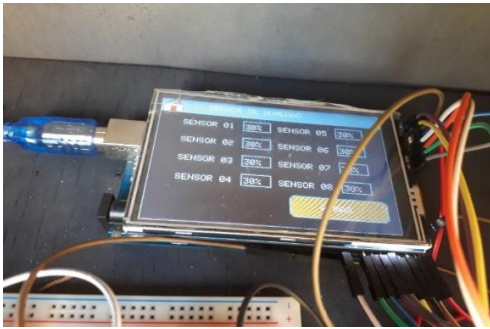


Fig. 6 Instalación del módulo control
Elaboración propia de los autores

2. Validación de la implementación

En este punto se verificó el correcto funcionamiento del sistema dentro del campo de cultivo, que realice el riego de las plantas de maíz, y que se pueda activar el modo manual y modo automático. En la figura 7 se muestra la implementación del sistema.



Fig. 7 Implementación del sistema
Elaboración propia de los autores

IV. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos sobre el control del agua y el crecimiento del maíz al implementar el sistema inteligente de riego con energía renovable, los cuales se comparan con los datos que se obtuvieron del método de riego por surco. Los dos métodos de riego utilizados para este estudio

se realizaron bajo condiciones similares: el mismo tipo de suelo, el mismo tipo de cultivo y la misma cantidad de plantas.

El sistema inteligente de riego con energía renovable controla el tiempo de riego basado en los datos obtenidos por los sensores de humedad y el sensor de lluvia. Mediante estos datos el sistema puede realizar el riego dos o tres veces por semana, mientras que en el método de riego por surco se realiza de modo manual controlado por un usuario, el cual realiza un riego por semana. La recolección de datos para este estudio se realizó durante una semana, debido a que se tenía que obtener tanto del grupo control como del grupo experimental.

A. ANÁLISIS DEL CONTROL DE AGUA

VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA EN EL GRUPO DE CONTROL

El volumen de consumo de agua es la cantidad de agua que consume cada planta por cada vez que se realiza el riego. El grupo de control estaba conformado por 56 plantas de maíz, en los cuales se realizó el análisis y se obtuvo los siguientes resultados como se muestra en la figura 8.

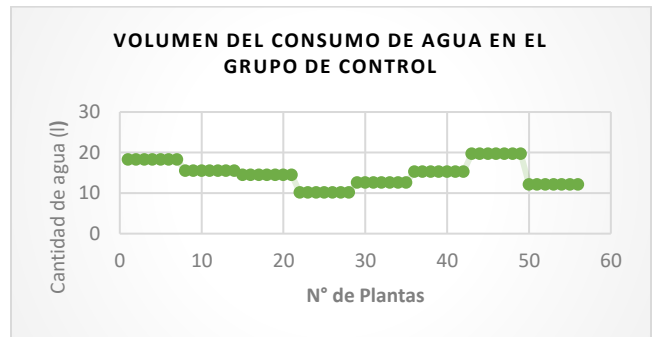


Fig. 8 Volumen del consumo de agua en el grupo de control
Elaboración propia de los autores

VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA EN EL GRUPO EXPERIMENTAL

En la figura 9 se muestra el volumen de consumo de agua en el grupo experimental, el cual está conformado por 56 plantas de maíz.

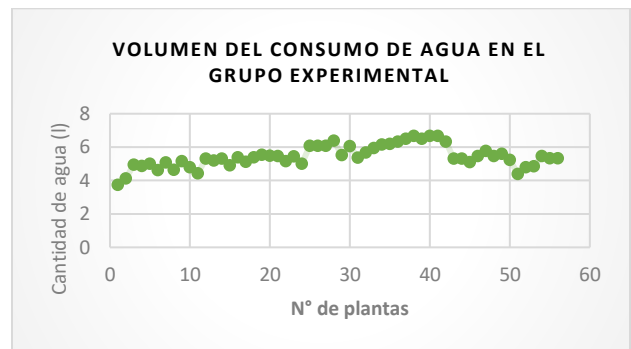


Fig. 9 Volumen del consumo de agua en el grupo experimental
Elaboración propia de los autores

PROMEDIO DEL VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA DEL GRUPO CONTROL Y GRUPO EXPERIMENTAL

Se obtuvo el promedio del volumen de consumo de agua de cada grupo para verificar cuál de los dos métodos utiliza mayor cantidad de agua. El resultado fue que el riego por surco consume más agua que el sistema inteligente de riego con energía renovable. Estos datos se muestran en la figura 10.

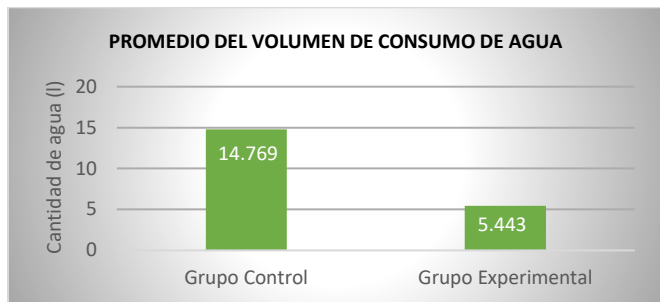


Fig. 10 Promedio del volumen de consumo de agua de cada grupo
Elaboración propia de los autores

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA

En la figura 11 se puede apreciar que el grupo de control consume mayor cantidad de agua que el grupo experimental. Además, se muestra que el consumo de agua en cada planta del grupo de control es muy diferente con respecto a las demás; mientras que en el grupo experimental la cantidad de agua que consume cada planta es muy similar respecto a las demás.

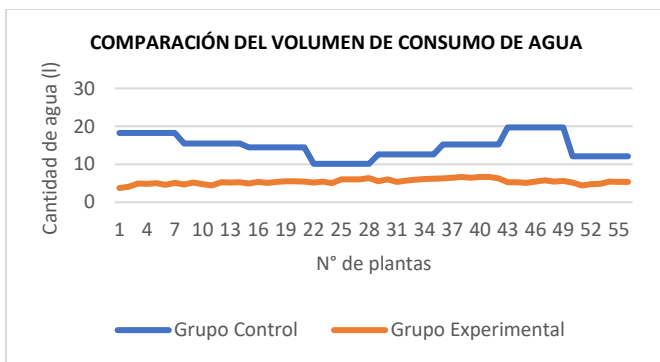


Fig. 11 Comparación del volumen de consumo de agua de cada grupo
Elaboración propia de los autores

B. ANÁLISIS DEL CAUDAL DE AGUA

CAUDAL DE AGUA EN EL GRUPO DE CONTROL

El caudal de agua es la cantidad de litros de agua que llega a la planta por cada segundo mientras se realiza el riego. En la figura 12 se muestra el caudal de agua de las 56 plantas seleccionadas para el grupo control.

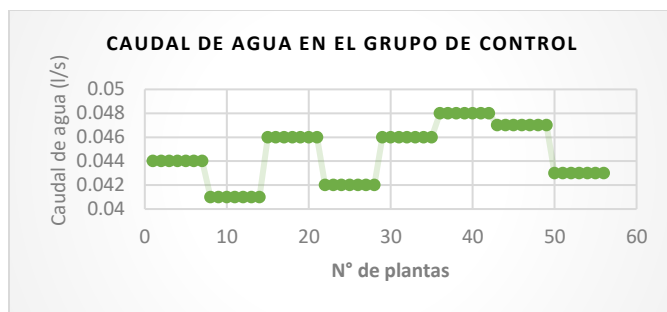


Fig. 12 Caudal de agua en el grupo de control
Elaboración propia de los autores

CAUDAL DE AGUA EN EL GRUPO EXPERIMENTAL

En la figura 13 se muestra el caudal de agua de las 56 plantas seleccionadas para el grupo experimental.



Fig. 13 Caudal de agua en el grupo experimental
Elaboración propia de los autores

PROMEDIO DEL CAUDAL DE AGUA EN EL GRUPO CONTROL Y GRUPO EXPERIMENTAL

Se obtuvo el promedio de caudal de agua de los dos grupos para verificar en cuál de ellos era más elevado. El resultado fue que el método de riego por surco genera un mayor caudal de agua que el sistema inteligente de riego. Estos datos se muestran en la figura 14.

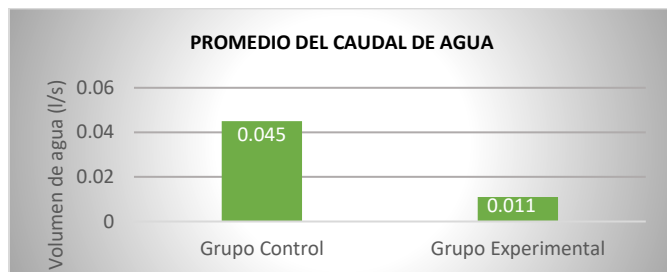


Fig. 14 Promedio del caudal de agua de cada grupo
Elaboración propia de los autores

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CAUDAL DE CONSUMO DE AGUA

En la figura 15 se puede apreciar que el grupo de control presenta mayor caudal que el grupo experimental. Además, se puede observar que las plantas utilizadas de muestra tienen un caudal de agua variado; mientras que en las plantas del grupo experimental el caudal es similar en todas.

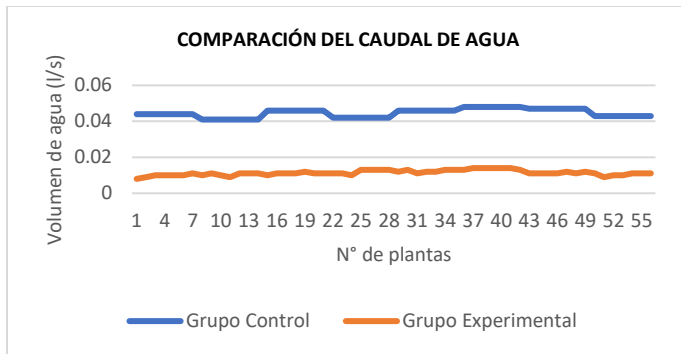


Fig. 15 Comparación del caudal de agua de cada grupo
Elaboración propia de los autores

C. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ

CRECIMIENTO DEL MAÍZ EN EL GRUPO DE CONTROL

Para el estudio del crecimiento de maíz en el grupo de control se analizó la altura de 56 plantas de maíz de una parcela. En la figura 16 se muestra los resultados obtenidos durante el análisis.

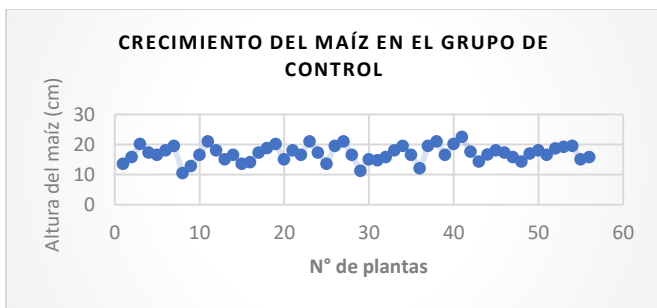


Fig. 16 Crecimiento del maíz en el grupo de control
Elaboración propia de los autores

CRECIMIENTO DEL MAÍZ EN EL GRUPO EXPERIMENTAL

En la figura 17 se observan los resultados obtenidos del crecimiento de 56 plantas de maíz que conforman el grupo experimental.

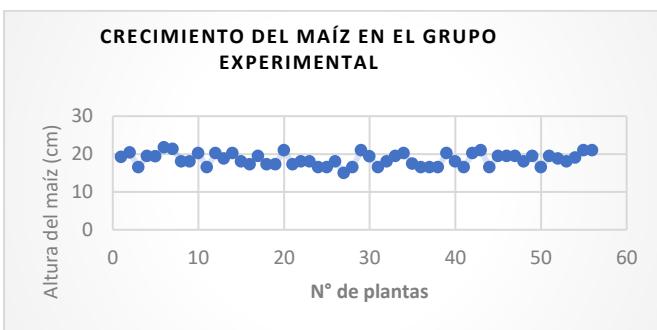


Fig. 17 Crecimiento del maíz en el grupo experimental
Elaboración propia de los autores

PROMEDIO DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ

18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy", 29-31 July 2020, Buenos Aires, Argentina.

Se obtuvo el promedio de cada grupo para verificar cuál obtiene mejor rendimiento en cuanto a su crecimiento. Como resultado se encontró que el grupo de control tiene un menor crecimiento que el grupo experimental, como se muestra en la figura 18.

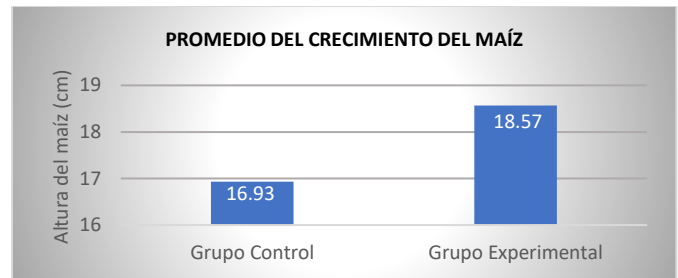


Fig. 18 Promedio del crecimiento del maíz
Elaboración propia de los autores

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ

En la figura 19 se presenta la comparación de los resultados obtenidos en los dos grupos de estudio. Se puede apreciar que en el grupo de control el crecimiento de las plantas es variado, mientras que en el grupo experimental todas las plantas tuvieron un crecimiento similar.

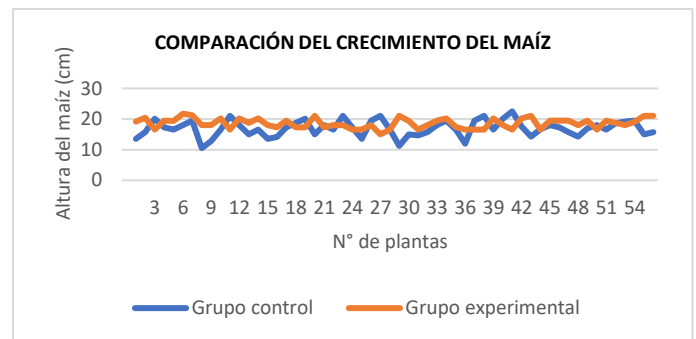


Fig. 19 Comparación del crecimiento del maíz de cada grupo
Elaboración propia de los autores

D. ANÁLISIS DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ

TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ EN EL GRUPO DE CONTROL

La tasa de crecimiento es la cantidad de centímetros por día que logra crecer la planta de maíz. Se analizaron 56 plantas de maíz que conforman el grupo de control, de las cuales se obtuvo los resultados que se muestran en la figura 20.

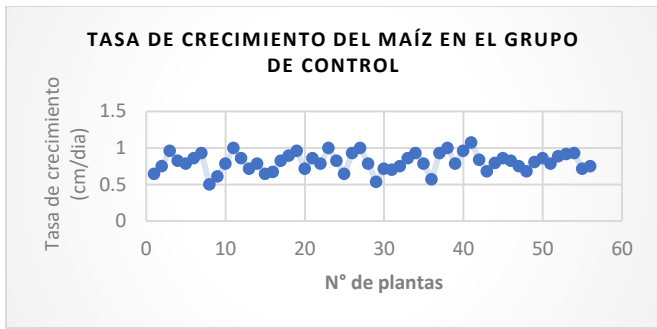


Fig. 20 Tasa de crecimiento del maíz en el grupo de control
Elaboración propia de los autores

TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ EN GRUPO EXPERIMENTAL

En la figura 21 se muestra la tasa de crecimiento de las 56 plantas seleccionadas para el análisis de la tasa de crecimiento del maíz en el grupo experimental.

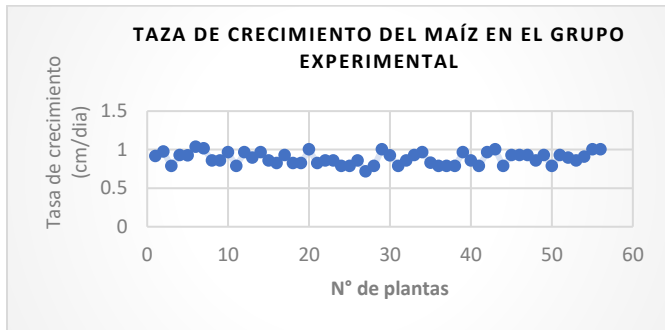


Fig. 21 Tasa del crecimiento del maíz en el grupo experimental
Elaboración propia de los autores

PROMEDIO DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ

Se obtuvo el promedio de la tasa de crecimiento de ambos grupos de estudio para determinar cuál de ellos era mejor. Como resultado se encontró que en el grupo de control la tasa de crecimiento era menor que en el grupo experimental. Estos datos se muestran en la figura 22.

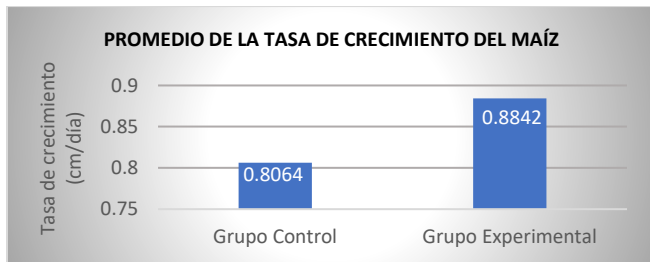


Fig. 22 Promedio de la tasa de crecimiento del maíz en cada grupo
Elaboración propia de los autores

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ

En la figura 23 se muestra la comparación realizada de las tasas de crecimiento en el grupo de control y en el grupo

experimental. En los resultados se puede observar que la tasa de crecimiento del grupo de control es inferior a la del grupo experimental. Además, en el grupo de control se aprecia que en las 56 plantas utilizadas en la muestra su tasa de crecimiento es variada; mientras que en el grupo experimental en la mayoría de las plantas es muy similar.

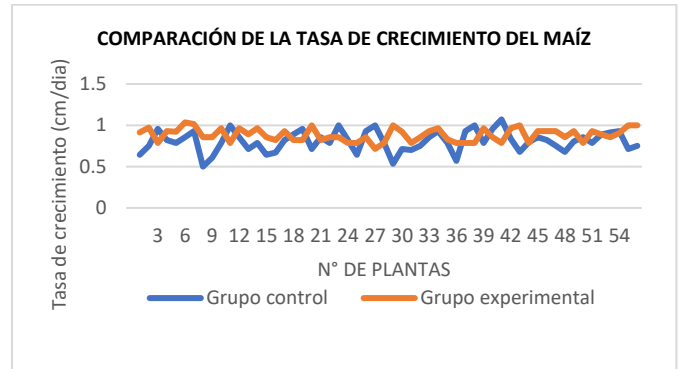


Fig. 23 Comparación de la tasa de crecimiento del maíz
Elaboración propia de los autores

E. RESUMEN DE PROMEDIOS DE LOS RESULTADOS DE LAS VARIABLES

TABLA 3
RESUMEN DE PROMEDIOS DE LAS VARIABLES

| Variable | Grupo Control | Grupo Experimental |
|---------------------------|---------------|--------------------|
| Control de agua (l) | 14.769 | 5.443 |
| Crecimiento del maíz (cm) | 16.93 | 18.57 |

Elaboración propia de autores

F. RESUMEN DE PROMEDIOS DE LOS RESULTADOS DE LAS DIMENSIONES

TABLA 4
RESUMEN DE PROMEDIOS DE LAS DIMENSIONES

| Dimensión | Grupo Control | Grupo Experimental |
|---|---------------|--------------------|
| Caudal del consumo de agua (l/s) | 0.045 | 0.011 |
| Tasa de crecimiento de la planta (cm/día) | 0.8064 | 0.8842 |

Elaboración propia de autores

V. DISCUSIÓN

En la tabla 3 podemos apreciar que el valor promedio para el control de agua fue 14.769 litros en el grupo de control aplicando el riego tradicional; mientras que, para el grupo experimental con el sistema inteligente de riego con energía renovable, el valor promedio obtenido fue de 5.443 litros.

En los resultados mostrados en la tabla 4 observamos que el valor promedio para el caudal de agua fue 0.045 litros por segundo en el grupo de control, en cambio en el grupo experimental el valor obtenido fue de 0.011 litros por segundo.

Esto demuestra una mejora del 75.6% en el ahorro de agua utilizando el sistema inteligente de riego con energía renovable

con respecto al riego tradicional. Este valor es superior al que se muestra en el trabajo de Parada & Carrillo [15], titulado “La automatización de sistemas de riego: Estrategias de control a través de dispositivos móviles”, donde se implementó un sistema de riego mediante la utilización de estrategias de control a través de dispositivos móviles, para optimizar el uso del agua, llevar un buen control de cultivos con respeto a la nutrición y variables ambientales. Esta mejora se debe a que en el proyecto actual se utilizaron varios sensores y varias electroválvulas por cada parcela, lo cual permitió un mayor control en el consumo de agua y tiempo de riego; mientras que en el artículo mencionado se utilizó una electroválvula y un sensor para cada parcela.

Asimismo, en la tabla 3 se muestra el valor promedio que se obtuvo en el crecimiento del maíz que fue de 16.93 centímetros en el grupo de control, mientras que, en el grupo experimental el valor obtenido fue de 18.57 centímetros.

En los resultados mostrados en la tabla 4, se observa que el valor promedio para la tasa de crecimiento del maíz fue de 0.8064 centímetros por día en el grupo de control, en cambio en el grupo experimental el valor fue de 0.8842 centímetros por día. Esto demuestra una mejora del 9.6% en cuanto al crecimiento de la planta de maíz.

VI. CONCLUSIONES

El sistema inteligente de riego con energía renovable tuvo una influencia positiva sobre el control del agua.

El sistema inteligente de riego con energía renovable tuvo una influencia positiva sobre el crecimiento del maíz.

Se demostró la influencia del sistema inteligente de riego con energía renovable en el volumen de consumo de agua según los resultados obtenidos del análisis de datos en el control de agua. Estos resultados demuestran una mejora en el ahorro en el consumo de agua del 75.6%.

Se demostró la influencia del sistema inteligente de riego con energía renovable en la tasa de crecimiento del maíz según los resultados obtenidos del análisis de datos del crecimiento de maíz. Estos resultados demuestran una mejora en la tasa de crecimiento del maíz del 9.6%.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la guía y apoyo del Ing. Víctor Dávila, coordinador de la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales de la Universidad Privada del Norte. A todas las personas, amigos y familiares que de alguna manera apoyaron en el desarrollo de este artículo científico y facilitaron los medios para realizar el estudio de campo.

REFERENCIAS

[1] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París: UNESCO

[2] Agencia EFE. (2018). La ONU inicia una década de acciones para evitar una crisis global del agua. [En línea]. Recuperado el 12/10/2018 de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/la-onu-inicia-una-decada-de-acciones-para-evitar-crisis-global-del-agua/20000013-3561973>

[3] Jiménez, J., Moreno, L., & Magnitskiy, S. (2012). Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 96-109. [En línea]. Recuperado el 18/10/2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n1/v6n1a10.pdf>

[4] Gobernación de Antioquia. (2015). Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas. Medellín: Fotomontajes S.A.S.

[5] Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). Resolución Jefatural n.º 068-2018 ANA: Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-Pe, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. [En línea]. Recuperado el 26/10/2018 de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._068-2018-ana.pdf

[6] Ley N° 2308 / 2017 - CR. Ley que declara de necesidad pública e interés nacional la ejecución del proyecto represa siguas en la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. (2018). Artículo único. Declaratoria de necesidad pública e interés nacional. [En línea]. Recuperado el 07/11/2018 de http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0230820180111.pdf

[7] Gobierno Regional La Libertad. (2018). Gobierno Regional La Libertad hace llamado al uso racional y cuidado del agua. [En línea]. Recuperado el 02/11/2018 de <http://www.regionallibertad.gob.pe/noticias/regionales/8760-gobierno-regional-la-libertad-hace-llamado-al-uso-racional-y-cuidado-del-agua>

[8] Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2018). Producción de maíz amarillo duro aumentó 37,4% en diciembre de 2017. [En línea]. Recuperado el 06/12/2018 de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-maiz-amarillo-duro-aumento-374-en-diciembre-de-2017-10604>

[9] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2018). Boletín agroclimático mensual. Dirección zonal 3 Cajamarca - La Libertad, 5(1). [En línea]. Recuperado el 07/05/2019 de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03708SENA-29.pdf>

[10] Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos usos y adaptaciones. Ira. ed. Catamarca: INTA.

[11] Cadena, V. (2014). Hablemos de riego. Ira. ed. Quito: CONGOPE.

[12] Twenergy. (2017). Energía Eólica Nociones Básicas. [En línea]. Recuperado el 25/11/2018 de <https://twenergy.com/guias-eficiencia-energetica/energia-eolica-nociones-basicas>

[13] Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (s.f.). Uso eficiente del agua en agricultura. Bolivia.

[14] Agard, H. (2015). Maíz crecimiento y desarrollo. Estados Unidos: Pioneer. Parada, J. & Carrillo, J. (2014). Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, 1(1), 138-160. [En línea] Recuperado el 10/06/2019 de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/mt/article/view/513/557>