



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales

“SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO CON ENERGÍA RENOVABLE EN EL CONTROL DE AGUA Y CRECIMIENTO DEL MAÍZ”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Sistemas Computacionales

Autores:

Bach. Wilder Emilio, Moreno Zavaleta

Bach. Hans Kennedy, Nolazco Díaz

Asesor:

Mg. Rolando Javier Berrú Beltrán

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A Dios por su infinito amor y por darnos salud e iluminarnos cada día en el transcurso de esta investigación, y por habernos permitido cumplir nuestros objetivos. A nuestros padres por ser nuestra fuente de inspiración, por su comprensión y apoyo incondicional para no rendirnos.

## AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por el apoyo incondicional y constante que nos brindaron para realizar esta investigación. A nuestros familiares y amigos que nos incentivaron a continuar adelante. A los profesores que nos fortalecieron con sus conocimientos, y a todas aquellas personas que nos brindaron las facilidades para el desarrollo de esta investigación en la localidad de Callancas.

## Índice

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
REFERENCIAS	75
ANEXOS	81

## Índice de tablas

<b>TABLA 1.</b> CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO MEGA 2560	34
<b>TABLA 2</b> DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	48
<b>TABLA 3</b> RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CONTROL DE AGUA	53
<b>TABLA 4</b> RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ	55
<b>TABLA 5</b> CONTROL DE AGUA (LTS)	58
<b>TABLA 6</b> VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA	61
<b>TABLA 7</b> CRECIMIENTO DEL MAÍZ (CM)	65
<b>TABLA 8</b> TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ (CM/DÍA)	68
<b>TABLA 9</b> OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	83
<b>TABLA 10</b> OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE 1	84
<b>TABLA 11</b> OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE 2	85
<b>TABLA 12</b> DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01	88
<b>TABLA 13</b> CAUDAL DE AGUA	89
<b>TABLA 14</b> DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 02	91
<b>TABLA 15</b> TIEMPO DE RIEGO	92
<b>TABLA 16</b> DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03	94
<b>TABLA 17</b> ALTURA DE LA PLANTA	95
<b>TABLA 18</b> DESCRIPCIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 04	97
<b>TABLA 19</b> TIEMPO DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA	98

## Índice de figuras

<b>FIGURA 1:</b> EFICIENCIA DEL AGUA POR DIFERENTES MÉTODOS DE RIEGO.	24
<b>FIGURA 2:</b> RIEGO POR ASPERSIÓN	25
<b>FIGURA 3:</b> RIEGO POR GOTEO	26
<b>FIGURA 4:</b> ETAPAS DE DESARROLLO DEL MAÍZ	30
<b>FIGURA 5:</b> SERVIDOR DE UBIDOTS	33
<b>FIGURA 5:</b> ARDUINO	34
<b>FIGURA 6:</b> ARDUINO MEGA 2560	35
<b>FIGURA 7:</b> MÓDULO SIM900	36
<b>FIGURA 8:</b> ELECTROVÁLVULA	37
<b>FIGURA 9:</b> SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO	37
<b>FIGURA 10:</b> SENSOR DE NIVEL DE AGUA	38
<b>FIGURA 11:</b> SENSOR DE LLUVIA	38
<b>FIGURA 12:</b> COMPONENTES DE UNA TURBINA EÓLICA	39
<b>FIGURA 13:</b> PROCESO DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.	41
<b>FIGURA 14:</b> CICLO DE VIDA DE SISTEMAS EMBEBIDOS	42
<b>FIGURA 15:</b> DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE SISTEMAS EMBEBIDOS	44
<b>FIGURA 16:</b> VARIANZA DEL CONTROL DE AGUA	59
<b>FIGURA 17:</b> PRUEBA Z DEL CONTROL DE AGUA	60
<b>FIGURA 18:</b> DIFERENCIA DE PROMEDIOS DEL CONTROL DE AGUA	60
<b>FIGURA 19:</b> VARIANZA DEL VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA	62
<b>FIGURA 20:</b> PRUEBA Z DEL VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA	63
<b>FIGURA 21:</b> DIFERENCIA DE PROMEDIOS DEL VOLUMEN DE CONSUMO DE AGUA	64
<b>FIGURA 22:</b> VARIANZA DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ	66
<b>FIGURA 23:</b> PRUEBA Z DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ	67
<b>FIGURA 24:</b> DIFERENCIA DE PROMEDIOS DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ	67
<b>FIGURA 25:</b> VARIANZA DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ	69
<b>FIGURA 26:</b> PRUEBA Z DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ	70
<b>FIGURA 27:</b> DIFERENCIA DE PROMEDIOS DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL MAÍZ	70
<b>FIGURA 28:</b> MATRIZ DE VALIDACIÓN	86
<b>FIGURA 29:</b> VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS	87
<b>FIGURA 30:</b> ARQUITECTURA DEL SISTEMA EMBEBIDO	101
<b>FIGURA 31:</b> PROTOTIPO DEL GENERADOR EÓLICO	102
<b>FIGURA 32:</b> PROTOTIPO DEL SISTEMA DE RIEGO	103
<b>FIGURA 33:</b> DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA	105

<b>FIGURA 34: CASO DE USO DEL SISTEMA</b>	106
<b>FIGURA 35: ALMACENAMIENTO DE DATOS EN VARIABLES</b>	107
<b>FIGURA 36: LÓGICA DEL SENSOR DE LLUVIA</b>	107
<b>FIGURA 37: LÓGICA DEL SENSOR DE HUMEDAD</b>	108
<b>FIGURA 38: PROTOTIPO INTERFAZ INICIO</b>	109
<b>FIGURA 39: PROTOTIPO INTERFAZ MENÚ PRINCIPAL</b>	110
<b>FIGURA 40: PROTOTIPO INTERFAZ MODO AUTOMÁTICO</b>	110
<b>FIGURA 41: PROTOTIPO INTERFAZ DATOS SENSOR HUMEDAD</b>	111
<b>FIGURA 42: PROTOTIPO INTERFAZ DATOS SENSOR LLUVIA</b>	111
<b>FIGURA 43: PROTOTIPO INTERFAZ MODO MANUAL</b>	112
<b>FIGURA 44: PROTOTIPO INTERFAZ ELECTROVÁLVULAS</b>	112
<b>FIGURA 45: IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO</b>	113
<b>FIGURA 45: IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE ENERGÍA SOLAR</b>	113
<b>FIGURA 46: IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULO CONTROL</b>	114
<b>FIGURA 47: INTERFAZ MENÚ PRINCIPAL</b>	114
<b>FIGURA 48: INTERFAZ DATOS DEL SENSOR HUMEDAD</b>	115
<b>FIGURA 49: INTERFAZ ELECTROVÁLVULAS</b>	115
<b>FIGURA 50: MOTOR DEL GENERADOR EÓLICO</b>	116
<b>FIGURA 51: INSTALACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO</b>	116
<b>FIGURA 52: INSTALACIÓN DEL GENERADOR DE ENERGÍA SOLAR</b>	117
<b>FIGURA 54: INSTALACIÓN DE RELÉS</b>	117
<b>FIGURA 55: INSTALACIÓN DE SENSORES</b>	117
<b>FIGURA 54: INSTALACIÓN DE PANTALLA TFT LCD</b>	118
<b>FIGURA 55: INSTALACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS</b>	118
<b>FIGURA 56: GENERADOR EÓLICO EN FUNCIONAMIENTO</b>	119
<b>FIGURA 57: GENERADOR DE ENERGÍA SOLAR EN FUNCIONAMIENTO.</b>	119
<b>FIGURA 60: MÓDULO DE CONTROL EN FUNCIONAMIENTO</b>	120
<b>FIGURA 61: DATOS DE LOS SENSORES EN EL MÓDULO DE CONTROL</b>	120
<b>FIGURA 60: SERVIDOR DE UBIDOTS</b>	120
<b>FIGURA 63: SISTEMA DE TUBERÍAS CON ELECTROVÁLVULAS EN FUNCIONAMIENTO</b>	121
<b>FIGURA 64: SENSOR DE HUMEDAD Y GOTERO EN FUNCIONAMIENTO</b>	121

## Índice de ecuaciones

<b>ECUACIÓN 1: MÉTODO VOLUMÉTRICO</b>	28
<b>ECUACIÓN 2: CRECIMIENTO DE LA PLANTA</b>	29
<b>ECUACIÓN 3: DETERMINAR LA HUMEDAD</b>	33
<b>ECUACIÓN 4: FÓRMULA DE LA MEDIA</b>	44
<b>ECUACIÓN 5: VARIANZA DE MUESTRAS</b>	45
<b>ECUACIÓN 6: PROPORCIÓN DE MUESTRAS</b>	45



## 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.

## 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

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Realidad problemática

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 (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2018). 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, que según la ONU 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 (Agencia EFE, 2018).

Según la (UNESCO, 2018) “La agricultura representa aproximadamente el 70% de las extracciones de agua a nivel mundial, de las cuales la gran mayoría se utilizan para el riego” (p. 12). 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 (UNESCO, 2018).

Es así como el sector agricultura es el que más consumo de agua demanda, y concretamente el maíz que es uno de los productos más cultivados en todo el mundo. 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 (Jiménez, Moreno & Magnitskiy, 2012). Pero no solamente la inundación perjudica a los cultivos, la sequía es otro factor que afecta al crecimiento de las plantas y particularmente a la producción de maíz en donde aproximadamente el 80% de un área sembrada de dicha planta 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% (Gobernación de Antioquia, 2015).

Iniciando con un panorama internacional sobre el control del agua. En la India, el sector agrícola abarca alrededor del 85% del agua total, el cual tiene un escaso control y pocos se preocupan por su conservación; a diferencia de la industria y los servicios públicos que consumen aproximadamente el 5% del agua del país. El riego por inundación es el método más utilizado en los campos de cultivo, y esto es debido a su bajo coste de implementación. Es por ello que el Gobierno de la India se ha comprometido a cambiar los paradigmas de riego actuales para priorizar la gestión y control del agua, y ha iniciado a promover un Marco Nacional de Agua para establecer principios y leyes básicas para la conservación de recursos hídricos (Collado, 2018).

En México, los métodos de riego más utilizados son los presurizados y el riego por gravedad; este último es usado en aproximadamente el 90% de los campos agrícolas. Sin embargo, presenta un uso desmedido de los recursos hídricos y el índice de aprovechamiento es muy bajo debido a que la gran mayoría se pierde en la evaporación y fugas. Anualmente la superficie agrícola consume aproximadamente el 77% del total de agua dulce. Para contrarrestar esta problemática, en 2014 el Gobierno Federal lanzó el programa REGRAT (Riego por Gravedad Tecnificado) el cual tiene como objetivo tecnificar y mejorar el aprovechamiento del agua, y de brindar asesoría y equipamiento a los agricultores (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] Global, 2018).

En Honduras y El Salvador, el maíz y los frijoles son los principales cultivos.

Sin embargo, estos se han visto afectados gravemente en el 2018 por la sequía de Guatemala; los dos gobiernos informaron pérdidas de 281 000 hectáreas de dichos cultivos. Se estima que en Honduras un 82% de los cultivos de maíz y frijol se han perdido; mientras que El Salvador declaró alerta roja por todos los cultivos perdidos. Este acontecimiento ha generado preocupación a La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa Mundial de Alimentos (PMA), debido a que la sequía ha afectado el crecimiento y cosecha de los cultivos no solamente en El Salvador y Honduras, sino que también en otros lugares de Centroamérica (Agencia de Noticias Europa Press, 2018).

Así mismo, en Bolivia y concretamente en el departamento de Santa Cruz, productor del 70% de los alimentos del país, las sequías y las plagas han afectado grandes partes del sector agrícola. La sequía trajo consigo una plaga llamada el gusano cogollero, el cual se introduce en la mazorca e impide que la planta crezca. Estos efectos hicieron que se plantee el uso de biotecnología para afrontar dichos problemas (Infobae, 2018).

En el ámbito nacional, 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 (Perú. Ministerio de Agricultura y Riego, 2018).

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 (Ley N° 2308/2017 - CR, 2018).

La región La Libertad está teniendo cada vez más áreas de cultivo que contribuyen a la economía de la regional. 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 mala gestión del agua; que hacen 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 (Gobierno Regional La Libertad, 2018).

En cuanto al cultivo del maíz en el 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 (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática [INEI], 2018). En el 2018, el desarrollo vegetativo del maíz en las provincias de Cajamarca, Cajabamba, Celendín y San Miguel; se vio favorecido por el exceso de lluvias e incremento mínimo de las temperaturas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2018).

En el ámbito local, con respecto al control del agua en la localidad de Callancas de la provincia de Otuzco. El riego por tendido y por surco, son los métodos más usados debido al bajo costo que tiene su implementación. Sin embargo, estos dos métodos son muy ineficientes ya que se generan grandes desperdicios de los recursos hídricos y solo un porcentaje menor es aprovechado por las plantas. El riego por tendido tiene “elevadas pérdidas debido a que la distribución del agua dentro del lote es dispareja, por lo que la cantidad de agua disponible para muchas plantas es baja o nula, quedando pequeños sectores con exceso de agua” (Demin, 2014, pp. 07-08). Así

mismo, la eficiencia del método por surco “puede ser tan baja que puede llegar a menos del 40%, es decir solo este porcentaje queda disponible para las plantas” (Demin, 2014, p. 08).

En cuanto al crecimiento del maíz, este se ve afectado principalmente por la mala distribución de los recursos hídricos, teniendo en cuenta que en el sector el agua destinada para el riego es escasa. Los agricultores de la zona 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 deja notar especialmente en el crecimiento temprano del maíz que es cuando el tallo muchas veces se marchita.

En este estudio se han considerado las siguientes investigaciones como antecedentes sobre el sistema inteligente de riego con energía renovable en el control de agua y crecimiento del maíz: El autor González (2017), en la investigación de un “sistema de riego automatizado”, tuvo como objetivo optimizar el uso de agua a través de un mecanismo de riego automatizado. Para lograr esto se desarrolló un sistema de riego que facilite la irrigación mediante sensores de humedad de la tierra. Los resultados obtenidos fueron que utilizando el módulo Arduino Uno en proyectos de automatización ayuda con facilidad a controlar las variables de humedad y riego, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema de riego automatizado logró una disminución considerable en el uso del agua y energía eléctrica.

Los autores Mayhua, Ludeña, Tamayo, Cuba, Núñez, Gonzales & Lozada (2016), en la investigación de un “sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos”, tuvieron como objetivo desarrollar prácticas de gestión eficiente del agua. Para lograr esto se desarrolló un sistema de gestión inteligente de riego por goteo utilizando una red de sensores inalámbricos tipo ZigBee

a través de estos se midió la humedad, temperatura y condiciones eléctricas. El resultado obtenido fue un ahorro de hasta 25,62% en el consumo de agua, por lo que se llegó a una mejora de la productividad y un menor gasto del agua.

Los autores Rendón, Domínguez, Martínez, Garay & Juárez (2018), en la investigación de un “sistema inteligente para controlar sistemas de riego en México”, tuvieron como objetivo aplicar la inteligencia artificial para el control de los sistemas de riego en las zonas agrícolas de México. Para lograr esto se desarrolló un sistema de riego basado en el desarrollo de un software y hardware en el cual se recopila información de los parámetros agronómicos y climatológicos en tiempo real. El resultado que se obtuvo fue de 35% de ahorro de agua, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema inteligente es capaz de registrar las características del suelo, cultivo y sistema de riego a controlar.

Los autores Almeida, Camejo & Santiesteban (2017), en la investigación de “la fertirrigación inteligente, pilar de una agricultura sostenible”, tuvieron como objetivo obtener información sobre el tipo de cultivo, las condiciones agroclimáticas de la región y del suelo. Para lograr esto se desarrolló un sistema que permitiera obtener la configuración apropiada de estos equipos. El resultado que se obtuvo fue un ahorro de 94,5% del agua mal utilizada anteriormente, por lo que se llegó a la conclusión que el nivel de líquido aportado permite que el sembrado se encuentre en mejores condiciones de alcanzar su rendimiento óptimo.

Los autores Castro, Chamorro & Viteri (2016), en la investigación de “una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado”, tuvieron como objetivo determinar el tiempo de riego y la zona particular que se debe regar utilizando el método de goteo. Para lograr esto se diseñó e implementó una red de sensores inalámbricos para obtener mediciones de la humedad del suelo de las



diferentes zonas de un cultivo de fresas. El resultado que se obtuvo fue un incremento en la eficiencia del uso del agua, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema de riego automatizado brinda una mejora en la calidad de los frutos con respecto al método de riego tradicional.

Los autores Martin, Montoya & Muñoz (2017), en la investigación “sistema de riego autónomo para pequeños cultivos basado en medición de temperatura y humedad”, tuvieron como objetivo eliminar daños por aplastamiento, perdidas por falta de irrigación y desperdicio de agua. Para lograr esto se implementó un sistema de riego autónomo, el cual se acciona automáticamente a partir de las mediciones de la temperatura y humedad del suelo. El resultado que se obtuvo fue de 5.87 veces más de maíz, con respecto a la producción normal, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema de riego autónomo nos brinda mejores condiciones de calidad del maíz.

Los autores Rodríguez, García, Vasquez & Juarez (2017), en la investigación “análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán”, tuvieron como objetivo controlar el ambiente para la producción de productos agrícolas fuera de temporada o de cultivos no endémicos. Para lograr esto se desarrolló un sistema para controlar el clima en la producción de productos y que realice el riego mediante un sensor de humedad del suelo. El resultado que se obtuvo fue de 80% de frutos de calidad; por lo que se llegó a la conclusión que el crecimiento, el aumento en el tamaño de la floración y el crecimiento del fruto se da por el sistema automatizado.

El autor Ignacio (2014), en la investigación “desarrollo de un sistema de control automático de riego por compuertas para la junta de regantes de Guarango Pampa – Utcubamba – Amazonas”, tuvieron como objetivo controlar automáticamente el riego por compuertas. Para lograr esto se desarrolló un sistema de control automático

de riego por compuertas, el cual consiste en controlar el tiempo de regadío y los horarios para cada agricultor. El resultado que se obtuvo fue de 100% en la rapidez del sistema, respondiendo a la orden en menos de un minuto, en comparación a los 45 minutos que se esperaba sin el uso del sistema, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema de control automático de riego por compuertas funciona correctamente a través de órdenes del sistema hacia el Arduino.

Los autores Parada & Carrillo (2014), en la investigación de “automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles”, tuvieron como objetivo optimizar el uso del agua, llevar un buen control de cultivos con respeto a la nutrición y variables ambientales. Para lograr esto se desarrolló un sistema de riego mediante la utilización de estrategias de control a través de dispositivos móviles. El resultado que se obtuvo fue de 55% de reducción del consumo de agua frente a los sistemas de riego tradicional, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema aumenta el rendimiento del cultivo de sandía en virtud de lo que se sembraba normalmente.

Los autores Alarcón, Arias, Diaz & Sotto (2017), en la investigación “diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en Corhuila”, tuvieron como objetivo solucionar problemas de inexactitud de las mediciones y control de las variables climáticas. Para lograr esto se diseñó un sistema de automatización, la cual contaba con la tecnología ZIGBEE peer to peer ya que este sistema transmitía los datos. El resultado que se obtuvo fue una comunicación eficaz y estable entre los sensores y los sistemas de control inalámbricos, por lo que se llegó a la conclusión que los sistemas aumentan la producción de los diferentes cultivos.

Los autores Reza, Martínez, Sánchez, Rivas & Ferre (2016), en la investigación de un “sistema de programación y control automático de un riego por goteo

subterráneo en un cultivo de olivar”, tuvieron como objetivo conseguir la máxima eficiencia en el uso del agua. Para lograr esto se desarrolló un sistema que consiste en instalar una red de distribución de agua e introducir la descargar de los goteros en profundidad. El resultado que se obtuvo fue de 20% menos de agua con respecto al riego anterior, por lo que se llegó a la conclusión que el uso racional del agua, puede contribuir a garantizar la sostenibilidad de la actividad agrícola en las zanas desiertas.

Los autores Rendón, Cortes, Juárez & Ortega (2015), en la investigación de un “sistema de riego inteligente utilizando electroválvulas a partir de sensores de visión”, tuvieron como objetivo obtener un mejor rendimiento y ahorro de agua al utilizar electroválvulas. Para lograr esto se desarrolló un sistema, en cual se basa de una foto para realizar el riego en las zonas que están por falta de agua. El resultado que se obtuvo fue de 20 a 25% más eficiente en la reducción de agua, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema muestra resultados de ahorro de agua y tiempo de riego para la población.

Los autores Gonzales, Vargas, Álvares & Reyes (2017), en la investigación de un “sistema de riego automatizado constituido de elementos electrónicos, dispositivo móvil y la construcción de aspensor”, tuvieron como objetivo desarrollar un sistema de riego automatizado, enfocado en el ahorro de agua, consumo de energía eléctrica, fácil operación y mantenimiento. Para lograr esto se implementó un sistema, el cual estaba constituido de un sensor de humedad y temperatura, sensor ultrasónico, pantalla LCD, microcontrolador (Arduino Mega), para la comunicación un módulo bluetooth, una aplicación móvil en Android. El resultado que se obtuvo fue de 28.3% en la reducción del consumo de agua con respecto al riego tradicional, por lo que se llegó a la conclusión que el ahorro del agua en la agricultura se puede utilizar para otras actividades.

Los autores Alarcón, Arias, Díaz & Sotto (2018), en la investigación de un

“sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta”, tuvieron como objetivo mejorar los índices de crecimiento de las plantaciones al interior de un invernadero. Para lograr esto se diseñó un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. El resultado que se obtuvo fue que en las primeras cinco semanas, se observó que el desarrollo de la planta eran iguales en ambos riegos; desde la séptima semana, el cultivo bajo cubierta presentó un aumento del 38% en la cantidad de ramas y un 28% de aumento de altura; en la semana 13 las diferencias se elevaron al 64% en cantidad de ramas, 65% de mayor cantidad de frutos y 55% en altura, por lo que se llegó a la conclusión que el uso de tecnología ocasiona un incremento en el crecimiento de la planta y en la producción.

Los autores Culebro, Gómez, Cossío, López, Morales & Guzmán (2016), en la investigación de un “modelo neurodifuso para el control de humedad del suelo en cultivo hidropónico para la planta de tomate”, tuvieron como objetivo encontrar la combinación de parámetros que mejor se ajustan al control de humedad requerida. Para lograr esto se implementó un sistema neurodifuso para un cultivo hidropónico de la planta de tomate, el cual estaba basado en una red neuronal tipo feedforward con algoritmo backpropagation y el sistema difuso tipo Takagi-Sugeno. El resultado de los parámetros fue de 40% a 60% de humedad como la combinación óptima del suelo, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema cumplió con las características de mantener dichos valores en los rangos establecidos.

Los autores Collado & Sáez (2017), en la investigación de un “sistema de riego inteligente para optimizar el consumo de agua en cultivos en Panamá”, tuvieron como objetivo proporcionar una estrategia de distribución para minimizar el

consumo total de agua. Para lograr esto se propuso un sistema de riego inteligente que permitió minimizar el consumo total de agua en los sistemas de riego de cultivos en Panamá, mientras se satisfacía las necesidades hídricas de las plantas. El resultado que se obtuvo fue un menor consumo de agua a medida que se aumentaba el tiempo y la cantidad de plantas en el cultivo, por lo que se llegó a la conclusión que los sistemas inteligentes de riego son importantes en la reducción del desperdicio de agua.

Los autores Cervantes, Santana & Molina (2016), en la investigación del “Arduino en la automatización de los sistemas de riego”, tuvieron como objetivo integrar la tecnología de la placa Arduino a los sistemas de riego con la finalidad de mejorar el control del agua en el riego, evitar el desperdicio y mal uso del líquido vital. Para lograr esto se implementó un sistema de riego, el cual estaba basado en un módulo relé, módulo lector de micro SD, módulo RTC, módulo LCD y electroválvulas. El resultado que se obtuvo fue de 3200 litros de consumo de agua por 4 horas durante el día, mientras que el sistema sin control consumió 5600 litros de agua durante 7 horas en un día, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema impactó positivamente en la productividad de los cultivos.

Los autores Palma, Palma, Molina & Santana (2015), en la investigación de un “sistema de riego automatizado para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la ESPAM MFL - Ecuador”, tuvieron como objetivo la automatización de un sistema de riego para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Para lograr esto se implementó un sistema de riego automatizado, el cual consiste en microcontrolador PIC, sensor de temperatura y humedad. El resultado que se obtuvo fue que en el riego del cultivo se aprovechaba el tiempo y la precisión al momento de realizar el riego,

por lo que se llegó a la conclusión que la automatización de sistemas de riego es de vital importancia para mejorar la calidad del fruto.

Los autores Zambrano, Altamirano, Olmedo & Hernández (2018), en la investigación de un “sistema automatizado de nebulización y riego por goteo de agua para la propagación clonal controlada de especies forestales”, tuvieron como objetivo lograr mantener la humedad constante en las camas de clonación dentro de la infraestructura del invernadero, con el fin de incidir positivamente en el índice de enraizamiento obtenidos. Para lograr esto, se implementó un sistema automatizado de nebulización y riego por goteo, el cual consiste en sensores de humedad y de temperatura, relés y electroválvulas para el encendido de la bomba hidráulica. El resultado que se obtuvo fue de 61% en el proceso de clonación y un 22% en la reducción del tiempo para obtener las clonaciones exitosas, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema automatizado permite reducir la temperatura y aumentar la humedad dentro del invernadero para mejorar el enraizamiento de las especies forestales.

Los autores Brown, Méndez & Bernal (2018), en la investigación de “evaluación de un sistema de micro irrigación accionado por energía eólica”, tuvieron como objetivo evaluar un sistema de micro irrigación accionado por energía eólica para que se logre el aprovechamiento racional del agua y la energía convencional. Para lograr esto, se implementó un sistema de micro irrigación accionado por energía eólica. El resultado que se obtuvo fue de 113% de grado de satisfacción para el sistema, por lo que se llegó a la conclusión que el sistema de micro irrigación garantiza la supervivencia de los diferentes cultivos.

La presente investigación se justifica porque ofrece como producto un sistema inteligente de riego con energía renovable, capaz de distribuir el agua adecuadamente

a las plantas por el método de goteo, mejorando así la producción de maíz. Con esto, los agricultores de la localidad se verán beneficiados gracias al aumento de la productividad de sus cultivos y reducción de mano de obra que se viene empleando para el riego.

De igual manera, el sistema contará con un suministro de energía, el cual está conformado por un generador eólico y un panel solar, capaz de alimentar a todos los circuitos, sensores e interfaz de control; y solamente asignará el agua necesaria para las plantas para evitar las inundaciones. De esta manera el sistema beneficiará a los agricultores, ya que utilizará energía renovable que no contamina al ambiente, no generará desperdicios de los recursos hídricos, tampoco deteriorará las tierras de cultivo, ni mucho menos causará inundaciones en ellas.

Asimismo, el sistema a través del uso de sensores será capaz de distribuir mejor el agua por toda el área de cultivo haciendo que se necesite menores cantidades de este recurso para el riego. Esto beneficiará a los agricultores ahorrándoles todo el trabajo que les toma llevar grandes cantidades de agua hasta la zona de cultivo, además de que varios miembros podrán utilizar el agua en los mismos días, debido a que las cantidades que necesite cada uno serán menores.

Además, esta investigación presenta la automatización mediante el uso de una red de sensores para realizar en control del agua en el riego, de tal manera que esta tarea se haga más eficiente. Así como, la utilización de un generador eólico para aprovechar la energía renovable. Con esto se verán beneficiados otros investigadores que enfoquen sus estudios en el uso de sensores y energía renovable para la automatización.

Se encontraron las siguientes limitaciones: en el desarrollo del proyecto no fue posible utilizar los canales de riego de la localidad de Callancas, ya que el agua que

fluye por ellas no siempre está disponible. Para esto se utilizó un reservorio en el cual se almacenó el agua y así se pudo llevar a cabo el riego cada vez que el sistema lo requería. Para monitorear la humedad de las plantas, la mejor opción es utilizar un sensor para cada planta y de acuerdo a ello asignar el agua, pero debido al alto costo que tiene implementar un sensor por cada planta, no se pudo aplicar en el proyecto. Para esto se implementó un sensor por cada surco y de acuerdo a esto se asignó el agua para todas las plantas de ese surco, con esto se consiguió una aproximación del tiempo en que se debe asignar el agua.

Conjuntamente, con este trabajo de investigación se recogió conceptos como:

## Control del agua

### Uso eficiente de agua

El uso eficiente del agua consiste en optimizar el recurso hídrico para producir más de lo planificado. Para ello se debe utilizar medidas prácticas para el mantenimiento y mejora del control del agua (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f.).

Eficiencias con diferentes métodos de riego en condiciones óptimas				
M. Riego	E. Aplicación	E. Almacenamiento	E. Distribución	E. Agronómica
Tendido ( <i>inundación</i> )	0,4	0,85	0,6	0,2
Surcos	0,55	0,85	0,75	0,35
Bordes	0,6	0,9	0,7	0,38
Aspersión	0,9	1	0,85	0,75
Goteo	0,95	1	0,9	0,86

**Figura 1:** Eficiencia del agua por diferentes métodos de riego.

Fuente: Tomada de “Uso eficiente de agua en agricultura”, por Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f., Eficiencia de riego, p. 6.

## Métodos riego

### Riego por tendido

Es el método más antiguo, ya que se caracteriza por distribuir el agua de forma dispareja en un terreno, es decir en el terreno deja zonas secas y zonas con bastante agua (Demin, 2014).



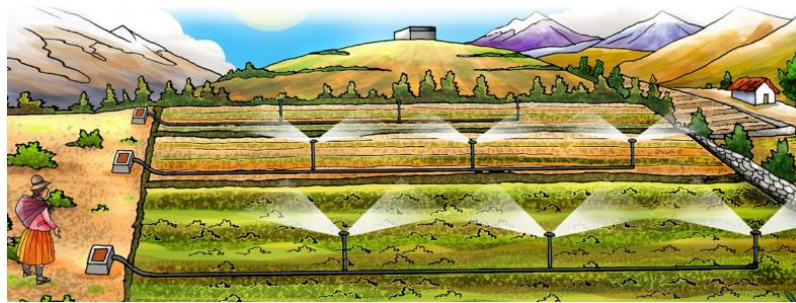
### **Riego por surcos**

Este método se realiza a través de canales o surcos, la eficiencia de este método es de 40%, es decir solo este porcentaje queda para la planta (Demin, 2014).

### **Riego por melgas**

En este tipo de riego el área de cultivo está formado por franjas que quedan entre 2 bordos por donde el agua avanza desde la cabecera hasta el pie del terreno cultivado. Este método es útil para regar los cereales, frutales y pasturas (Demin, 2014).

### **Riego por aspersión**



**Figura 2:** Riego por aspersión

Fuente: Tomada de “Uso eficiente de agua en agricultura”, por Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f., Riego por aspersión, p. 11.

Este método se realiza con tuberías de PVC, en la cual el agua se mueve a presión, para luego esta ser aplicada en forma de lluvia al cultivo (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f.).

Este sistema utiliza los siguientes componentes físicos:

- Captaciones o bocatomas.
- Canal de conducción.
- Desarenadores.
- Reservorio (con arcilla o geomembrana).
- Válvulas (operación y control).

- Red de tuberías (principales y de distribución, generalmente enterrados).
- Cámara rompe-presión.
- Hidrantes o cámaras de válvulas de acople rápido.
- Las líneas móviles de riego.
- El aspersor ubicado y acoplado a un elevador.

### Riego por microaspersión

Este método en aplicar el agua al suelo a manera de gotas muy pequeñas pero que a la vez tienen una cierta presión que es muy baja incluso más baja que la del método por aspersión. La presión que se quiere es de  $1,6\text{kg/cm}^2$ . El micro aspersor puede generar un diámetro de mojado alrededor de 3 a 4 metros. Este tipo de riego se recomienda para los cultivos de frutales, viveros y algunas hortalizas (Demin, 2014).

### Riego por goteo



### Figura 3: Riego por goteo

Fuente: Tomada de “Uso eficiente de agua en agricultura”, por Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f., Riego por goteo, p. 13.

En este método el agua se aplica a las plantas en forma de gotas mediante unos emisores que se conocen como “goteros”.

Dependiendo al gotero puede aplicar entre 2 a 4 litros de agua por

hora. Mediante este método se logra aplicar pequeñas cantidades de agua que van directamente a la raíz de la planta. Es muy utilizado en muchos países, ya que garantiza una mínima cantidad de pérdida de agua. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f.).

### **Distribución de agua**

La distribución de agua es un conjunto de actividades que se realizan para entregar agua equitativamente a través de canales, tubos y surcos hacia un determinado destino (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

### **Criterios básicos para la distribución de agua**

#### **Equidad**

En el ámbito de la sierra la cantidad de horas se distribuye de acuerdo a los trabajos realizados en el canal, en otros lugares se distribuye la misma cantidad de horas para todos los usuarios (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

#### **Transparencia**

Consiste en establecer reglas de distribución de agua para todos los usuarios (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

#### **Autonomía**

Consiste en regirse en órganos y normas propias para la toma de decisiones sobre la distribución de agua, esto no solo deben cumplirlo los de más alto nivel jerárquico, sino que también se deben involucrar a los usuarios (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013)

## **Flexibilidad**

Consisten en adaptarse a las diversas circunstancias como: sociales, climáticas, productivas y legales (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013)

## **Caudal del agua**

### **Método Volumétrico**

El método volumétrico es usado para medir el caudal de corrientes pequeñas de agua como los riachuelos o nacimientos de agua. Este método consiste ubicar un depósito impermeable y conducir el agua hasta el mismo. Previamente se debe conocer el volumen del depósito utilizado, y luego se mide el tiempo que demora el agua en llenar dicho depósito. Este es uno de los métodos más exactos para medir, pero es importante que el depósito sea grande acorde a la cantidad de agua que se va a aplicar y que su capacidad se pueda medir de manera precisa. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017).

La fórmula para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{V}{T}$$

### **Ecuación 1:** Método volumétrico

Fuente: Tomado de “Manual de medición de caudales,” por Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017, Metodo volumetrico, p. 3.

Donde:

Q = Es el caudal expresado en m<sup>3</sup>/s

V = Volumen dado en m<sup>3</sup>

T = Tiempo en segundos

El crecimiento del maíz se define como un aumento de tamaño en la planta, el cual es favorecido por cambios climáticos como la humedad, nutrientes, temperatura adecuada, entre otros factores, y es desfavorecido por temperaturas anormales, deficiencia en nutrientes, humedad, etc. (Agard, 2015).

### **Desarrollo del maíz**

El desarrollo del maíz se define como la progresión o cambio de una etapa a otra etapa más avanzada o más madura de la planta dependiendo de diferentes factores. La cantidad de calor acumulado en la planta de maíz es la que determina el tiempo que transcurre para que pase de una etapa a otra. Grados-día de crecimiento (GDD) es uno de los métodos más conocidos para calcular el calor acumulado mediante temperaturas mínimas y máximas (Agard, 2015).

Para el maíz, estas temperaturas son:

Mínima = 10 °C (50 °F)

Máxima = 30 °C (86 °F)

Debajo de la temperatura mínima y por encima de la temperatura máxima, la planta presentará poco o ningún crecimiento.

La fórmula de los Grados-día de crecimiento es:

$$GDD = \frac{(T_{\min} + T_{\max})}{2 - 10\text{ °C}}$$

### **Ecuación 2:** Crecimiento de la planta

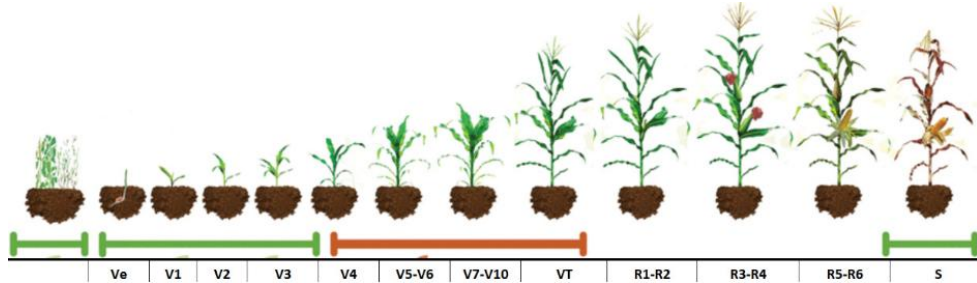
Fuente: Tomado de “Maíz crecimiento y desarrollo,” por H. Agard, 2015, Grados día de crecimiento, p. 8.

$T_{\min}$  = temperatura diaria mínima, o 10 °C si la temperatura es menos a 10 °C

$T_{\max}$  = temperatura diaria máxima, o 30 °C si la temperatura es mayor a 30

°C

### Etapas de desarrollo del maíz



**Figura 4:** Etapas de desarrollo del maíz

Fuente: Tomado de “Ficha técnica del maíz”, por Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras y Productores del Campo, 2018, Fenología.

### Etapas vegetativas

La descripción de las etapas vegetativas del maíz se describe según lo mencionado por el (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], s.f.).

**Emergencia (VE):** El coleóptilo emerge de la superficie del suelo y para que esto suceda deberán pasar aproximadamente 5 días desde su siembra.

**Primera hoja (V1):** El cuello de la primera hoja se hace visible aproximadamente a los 9 días.

**Segunda hoja (V2):** El cuello de la segunda hoja se hace visible cuando hayan pasado aproximadamente 12 días desde la siembra.

**Enésima hoja (Vn):** En esta etapa se hace visible el cuello de la hoja número “n”, donde esta variable vendría a ser el número de hojas definitivo de la planta, el cual generalmente fluctúa entre 16 y 22. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para la floración se pierden las 4 a 5 hojas de más abajo.

**Espigadura (VT):** Se hace completamente visible la última rama de la panícula o también llamada inflorescencia masculina. Hasta esta etapa habrán pasado aproximadamente 55 días.

### **Condiciones agroecológicas para el cultivo**

#### **Temperatura**

En el periodo de la emergencia a la floración es cuando la planta es mucho más sensible a las temperaturas bajas. Durante la germinación de la semilla, la temperatura debe mantenerse entre 15 y 20 °C, la más baja que puede soportar es de 12 °C, una menor a esta produce retardo y disminuye la germinación.

Pasados los 28 °C en el suelo, también puede ser dañino para la germinación de la semilla. Posterior a la emergencia, la planta puede soportar hasta 7 °C. Cuando la planta está en desarrollo soporta hasta 8 °C, aunque la temperatura óptima para su desarrollo y crecimiento está entre los 25 y 30 °C. Sin embargo, las temperaturas excesivamente altas también pueden afectar a la planta (Saavedra & González, 2014).

#### **Suelo**

Los suelos apropiados para el cultivo son los que cuentan con un buen drenaje, es decir los suelos francos o franco arcillosos (Cruz, 2013). Además, estas tierras deben tener una profundidad aproximadamente de 60 centímetros, con la finalidad de que no existan rocas o estratos duros que puedan dificultar el crecimiento de las raíces y drenaje de agua (Saavedra & González, 2014).

## **Riego**

El riego del maíz puede realizarse con diferentes métodos ya sea por aspersión, por gravedad o por goteo. Las necesidades hídricas de la planta varían según sus diferentes fases de desarrollo, cuando esta se encuentra en la fase de germinación requiere una menor cantidad de agua pero que se mantenga una humedad constante.

En la etapa de desarrollo vegetativo requiere una mayor cantidad de agua y especialmente en los días antes de la floración, que es cuando se debe prestar mayor cuidado para evitar el estrés hídrico.

En la fase de floración se debe mantener siempre la humedad porque de esto depende el llenado total del grano. La cantidad ideal de agua por día es aproximadamente 5 milímetros. Se debe disminuir el agua para lograr el engrosamiento y maduración de la mazorca (Cruz, 2013).

## **Sistema inteligente de riego con energía renovable**

### **Humedad del suelo**

La humedad del suelo está compuesta por la cantidad de agua que este tenga, y depende de la capacidad del suelo que tenga para retener el agua; esto varía dependiendo al tipo de suelo (Agromática, s.f.).

La humedad del suelo está expresada en porcentaje de acuerdo a la relación que existe entre el peso de la cantidad de agua y el peso de la tierra a medir. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006).

La fórmula para determinar la humedad es la siguiente:



$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

**Ecuación 3:** Determinar la humedad

Fuente: Tomado de “*Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo,*” por Universidad Nacional de Ingeniería, 2006, Cálculos, p. 4.

Donde:

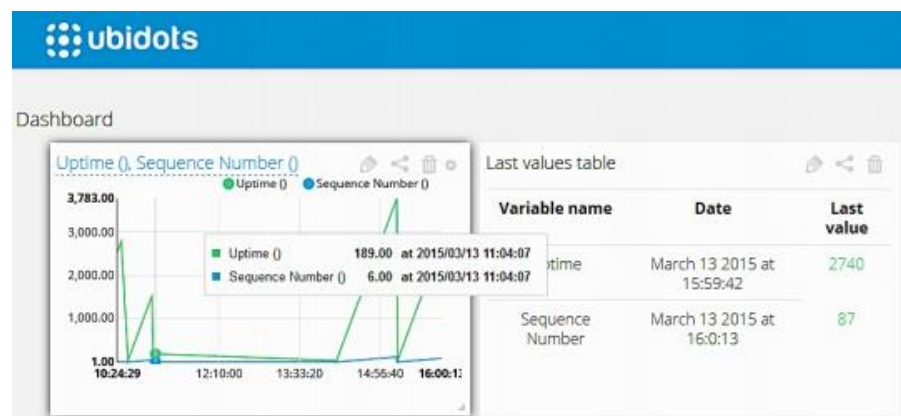
w: Contenido de humedad expresado en %.

W<sub>w</sub>: Peso del agua existente en la masa del suelo.

W<sub>s</sub>: Peso de las partículas sólidas.

### Servidor de Ubidots

Ubidots es una plataforma en la nube que permite verificar y almacenar la información de los dispositivos electrónicos. Además, permite controlar estos dispositivos desde la nube (Colina, Vives, Bagula, Zennaro & Pietrosemoli, 2015)



**Figura 5:** Servidor de Ubidots

Fuente: Tomado de “Internet de las cosas”, por Colina, Vives, Bagula, Zennaro & Pietrosemoli, 2015, Ejemplo de Ubidots IPv6 en Contiki nativo, p. 134.

### Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto o también conocido como open source, está basado en hardware y software flexibles y muy fáciles de usar, y está pensado para realizar prototipos electrónicos. Arduino cuenta con una

variedad de sensores mediante los cuales puede capturar datos de su entorno para controlar luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de Arduino se programa usando Arduino Programming Language y el Arduino Development Environment (Enríquez, 2009).



**Figura 6:** Arduino

Fuente: Tomado de “Catálogo de Robótica, Sensores y Arduino”, por Electrónica Embajadores, 2016, Módulos Arduino, p. 103.

### Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es un microcontrolador que cuenta con 54 pines entre entradas y salidas. Esta tarjeta se utiliza en sistemas con mayor cantidad de recursos, memoria e interfaces (Joy-It, 2017).

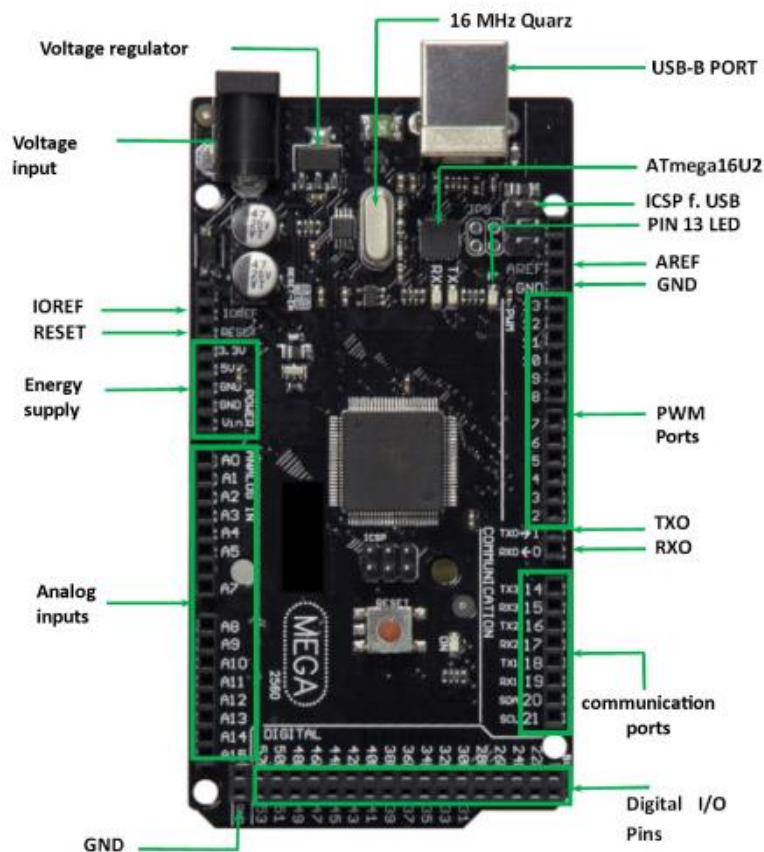
**Tabla 1.**

Características del Arduino Mega 2560

CHARACTERISTICS	VALUES
MODEL	ARD_MEGA2560R3
Microcontroller	ATmega2560
Input voltaje	7-12V
Input current (máx.)	6-20V

Digital IO	54 (14 mit PWM)
Analog IO	16
DC current IO	40mA
DC current 3.3V	50mA
Memory	256kB (8kB für Bootloader)
SRAM	8kB
EEPROM	4kB
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	101.52mm x 53.3mm

Nota: Tomado de “Mega2560 R3 Starter Kit. [Kit de inicio Mega2560 R3]”, por Joy-It, 2017, General informations & technical data, p. 3.



**Figura 7:** Arduino Mega 2560

Fuente: Tomado de “Mega2560 R3 Starter Kit. [Kit de inicio Mega 2560 R3]”, por Joy-It, 2017, Assignment, p. 4.

### **Módulo GSM GPRS SIM900**

El módulo GSM GPRS SIM900 está basado en un chip SIM900, compatible con el Arduino uno y Mega. Este módulo trabaja con las frecuencias GSM/GPRS de 850/900/1800/1900 MHz, con el módulo se puede realizar llamadas, enviar y recibir mensajes y conectarse a internet, el cual se controla a través de comandos AT (SIMCom, 2013)



**Figura 8:** Módulo SIM900

Fuente: Tomado de “Módulo GPRS/GSM Shield con Antena Integrada SIM900”, por Carrod electrónica.

### **Lenguaje de Programación**

Es un lenguaje formal que describe los datos para construir un programa. Está conformado por su sintaxis y su semántica. La primera es la que establece las reglas para escribir el programa, es decir viene a ser la gramática; mientras que la segunda es la que establece los tipos de datos, las instrucciones, las definiciones, y demás elementos que componen un programa (Juganaru, 2014).

### **Electroválvula**

Una electroválvula o también conocida como válvula solenoide es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas o fluidos. Cuenta con un electroimán el cual empuja un muelle para abrir y cerrar el paso del flujo. Cuando el electroimán recibe voltaje abre el paso del flujo y cuando se corta el voltaje se cierra nuevamente. Existen electroválvulas que pueden

trabajar con corriente alterna (AC) o con corriente continua (DC) y a diferentes voltajes (Sanchez, 2018).

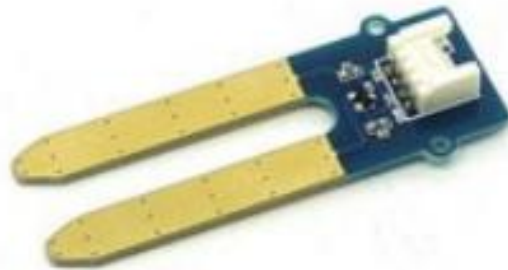


**Figura 9:** Electroválvula

Fuente: Tomado de “Válvula solenoide ½ 12VDC”, por Naylamp Mechatronics

### Sensor de humedad

Este sensor es ideal para calcular la humedad de las plantas y para verificar que días se regarán las plantas (Electrónica Embajadores, 2016).



**Figura 10:** Sensor de humedad del suelo

Fuente: Tomado de “Catálogo de Robótica, Sensores y Arduino”, por Electrónica Embajadores, 2016, Módulos Arduino, p. 103.

### Sensor de nivel agua

Este sensor se utiliza para medir el nivel de batería, tensión, nivel de agua y entre otros, el sensor este compuesto por 10 segmentos de LED los cuales se pueden controlar a través de código (Electrónica Embajadores, 2016).



**Figura 11:** Sensor de nivel de agua

Fuente: Tomado de “Catálogo de Robótica, Sensores y Arduino”, por Electrónica Embajadores, 2016, Módulos Arduino, p. 103.

### **Sensor de lluvia**

El sensor está diseñado para detectar lluvia y el nivel de agua.

El sensor está compuesto de varias líneas de conductor, una resistencia de 1 megohmio y un conector de conexión (Electrónica Embajadores, 2016).



**Figura 12:** Sensor de lluvia

Fuente: Tomado de “Catálogo de Robótica, Sensores y Arduino”, por Electrónica Embajadores, 2016, Módulos Arduino, p. 103.

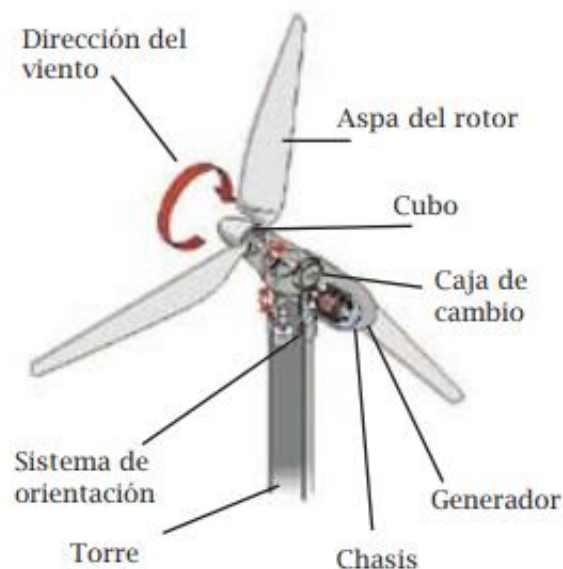
### **Energía eólica**

La energía eólica es un tipo de energía renovable y consiste en aprovechar la energía cinética generada por la fuerza del viento y convertirla en energía eléctrica o mecánica mediante el uso de ciertas aplicaciones tecnológicas, como puede ser un generador eólico (Secretaría de Energía, 2008).

## Componentes

En los generadores eólicos existen diferentes tipos de turbinas las cuales están conformadas por diferentes componentes, dependiendo de su aplicación y el rendimiento que se quiera obtener. (Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central [FOCER], 2002).

- Rotor
- Tren de potencia o conversión mecánica
- Sistema eléctrico
- Chasis
- Sistema de orientación
- Torre
- Sistema de seguridad



**Figura 13:** Componentes de una turbina eólica

Fuente: Tomado de “Manuales sobre energía renovable. Eólica”, por Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, 2002, Funcionamiento y componentes, 1, p. 9.

- Es inagotable
- No es contaminante
- Es de libre acceso (gratuita).
- Se puede aprovechar en la medida de las necesidades del momento.

### **Desventajas**

- Se encuentra dispersa.
- Es intermitente y aleatoria (no continua).

### **Energía Solar**

Es un tipo de energía renovable que utiliza el sol para obtener energía y generar electricidad, el cual esta energía se utiliza para el funcionamiento de los diferentes dispositivos eléctricos. Los sistemas de energía solares se dividen en dos grupos pasivos y activos, el pasivo utiliza elementos arquitectónicos bioclimáticos relacionados con el sol para dispersar la luz, mientras el activo utiliza dispositivos para captar la radiación solar, como los paneles solares o los colectores solares térmicos. (Schmerler, Velarde, Rodríguez & Solís, 2019)





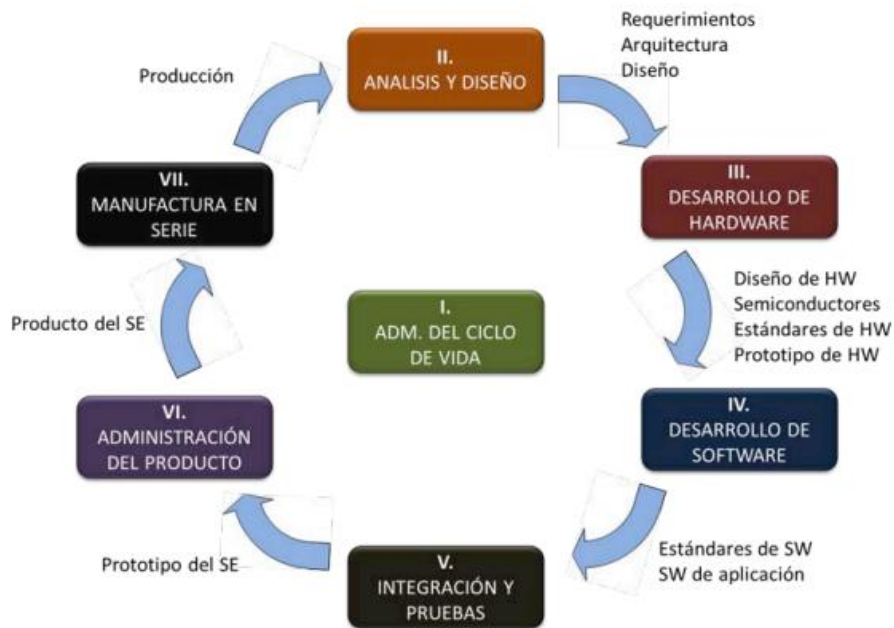
**Figura 14:** Proceso de captación de energía solar.

Fuente: Tomado de “Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética”, por Schmerler, Velarde, Rodríguez, Solís, Tecnología solar térmica, p. 25.

### Metodología de sistemas embebidos

Los sistemas embebidos están diseñados para realizar tareas específicas en tiempo real. Estos sistemas están conformados por dispositivos electrónicos, que son programables. Los sistemas embebidos son controlados por un microcontrolador principal, que este incluye interfaces de entrada y salida en el mismo. En conclusión, los sistemas embebidos tienen que tener eficacia, excelencia y repuesta rápida.

**Ciclo del proceso de desarrollo de sistemas embebidos.**



**Figura 15:** Ciclo de vida de sistemas embebidos

Fuente: Tomada de “Diagnóstico para la fundamentación de la Maestría en Sistemas Embebidos”, por Téllez & Avila, 2014, Ciclo del proceso de desarrollo de sistemas embebidos, 1, p. 17.

Macroprocesos	Proceso
I: Administración del ciclo de vida	Administración de ciclo de vida
II: Análisis y diseño	Especificación de requerimientos del <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema</li> <li>• Software</li> <li>• Hardware</li> </ul> Arquitectura del <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema</li> <li>• Software</li> <li>• Hardware</li> </ul> Diseño de <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto nivel para software y hardware</li> <li>• Detalle</li> </ul>
III: Desarrollo de hardware	Diseño de hardware <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelado</li> <li>• Síntesis</li> <li>• Físico</li> </ul>

	<p>Semiconductores</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processor Core (microprocessor, microcontrollers)</li> <li>• System-on-a-Chip processor (SoC)</li> <li>• Field programmable Gate Array (FPGA)</li> <li>• Application-Specific Integrated Circuit (ASIC)</li> <li>• Digital Signal Processor (DSP)</li> </ul> <p>Estándares del Hardware</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Network Systems (HW)</li> <li>• Electronic Control Unit (ECU)</li> <li>• Buses</li> <li>• Sensores</li> <li>• Actuadores</li> </ul> <p>Prototipo de hardware</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PCB (Printed Circuit Board)</li> <li>• Construcción del prototipo</li> <li>• Case Enclosure</li> <li>• Verificación y Pruebas</li> <li>• Diseño del Reuso</li> </ul>
IV: Desarrollo de software	
	<p>Estándares del software</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema operativo</li> <li>• Middleware</li> <li>• Firmware</li> </ul> <p>Software de aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelado</li> <li>• Generación de Código</li> <li>• Prototipo</li> <li>• Verificación y Pruebas</li> <li>• Diseño de Reuso</li> </ul>
V: Integración y pruebas	
	<p>Prototipo del sistema embebido</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración de software y hardware</li> <li>• Prueba y Validación</li> <li>• Estabilización y Mantenimiento</li> </ul>
VI: Administración de producto	
	<p>Producto del sistema embebido</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificaciones</li> <li>• Propiedad Intelectual</li> <li>• Liberación del producto</li> <li>• Administración del producto</li> </ul>
VII: Manufactura en serie	

	<b>Producción</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad Técnica del Proveedor</li> <li>• Calidad y Madurez de Procesos</li> <li>• Entrega y Validación</li> <li>• Implementación en serie</li> </ul>
<b>Aplicaciones (usos)</b>	
	<b>Comunicaciones</b> Controles industriales Electrónica automotriz Electro – Domésticos Salud y Medicina Entretenimiento Localización Transporte Seguridad y Vigilancia Defensa (ejército y marina) Telemetría

**Figura 16:** Descripción del ciclo de vida de sistemas embebidos

Fuente: Tomada de “Diagnóstico para la fundamentación de la Maestría en Sistemas Embebidos”, por Téllez & Avila, 2014, Ciclo del proceso de desarrollo de sistemas embebidos, 1, pp. 315-317.

### Método de contrastación de hipótesis.

#### Prueba Z

Es una distribución de probabilidad que permite determinar la media de una población, siempre y cuando la muestra sea mayor 30. Asimismo, determina las diferencias entre dos varianzas muestrales y nos realiza el intervalo de confianza entre las dos poblaciones.

#### Distribución de diferencias entre dos medias muestrales

$$Z = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

#### Ecuación 4: Fórmula de la media

Fuente: Tomado de “Estadística y Muestreo” por M. Ciro, 2012, Distribución de diferencias entre dos medias muestrales, 10, p. 343.

$$\text{siendo } s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

**Ecuación 5:** Varianza de muestras

Fuente: Tomado de “Estadística y Muestreo” por M. Ciro, 2012, Distribución de diferencias entre dos medias muestrales, 10, p. 363.

Z = Distribución de probabilidad

$n_1$  y  $n_2$  = Cantidad de muestras

$s_x^2$  y  $s_y^2$  = Varianza

$s^2$  = Varianza para cada muestra

$\bar{x}$  y  $\bar{y}$  = El promedio de las muestras

$x_i$  y  $y_i$  = Cada una de las muestras

**Distribución de diferencias entre dos proporciones muestrales.**

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\frac{p_1 q_1}{n_1 - 1} + \frac{p_2 q_2}{n_2 - 1}}}$$

**Ecuación 6:** Proporción de muestras

Fuente: Tomado de “Estadística y Muestreo” por M. Ciro, 2012, Distribución de diferencias entre dos medias muestrales, 10, p. 347.

Z= Distribución de probabilidad

$n_1$  y  $n_2$  = Cantidad de muestras

$p_1$  y  $p_2$  = Porcentaje de preferencia (resultados)

$q_1$  y  $q_2$  = Porcentaje faltante para el 100%

## **I.2. Formulación del problema**

¿Cómo un sistema inteligente de riego con energía renovable influye en el control del agua y crecimiento del maíz, en la localidad de Callancas - Otuzco en el año 2019?

## **I.3. Objetivos**

### **I.3.1. 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.

### **I.3.2. Objetivos específicos**

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

## **I.4. Hipótesis**

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

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado es el diseño cuasiexperimental 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 el experimento.

RG1	X	O1
RG2	--	O2

Donde:

RG1 = 56 plantas

RG2 = 56 plantas

X = Sistema inteligente de riego con energía renovable.

-- = Ausencia del sistema inteligente de riego con energía renovable.

O1: Medición post-experimental del control de agua y el crecimiento del maíz.

O2: Medición post-experimental del control de agua y el crecimiento del maíz.

### 2.2. Población y muestra

La población está conformada por todas 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 y no en las demás parcelas porque esto implicaría un mayor costo y demandaría más tiempo para su realización. Sin embargo, el estudio se pudo realizar de manera normal en una sola parcela debido a que el tipo de tierra del lugar es similar en todas las parcelas y esto significa que el riego también es similar. 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 de riego con energía renovable, mientras que a las otras 56 plantas restantes se realizó el riego por el método tradicional.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

**Tabla 2**

Descripción de las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

<b>VARIABLE</b>	<b>DIMENSIÓN O INDICADOR A MEDIR</b>	<b>TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Control del agua	Caudal	Observación	Guía de observación N° 01	Prueba Z utilizando la herramienta XLSTAT	Guía de observación elaborada por los autores. La descripción y el diseño del instrumento se encuentran en el anexo 01.
	Tiempo	Observación	Guía de observación N° 02	Prueba Z utilizando la herramienta XLSTAT	Guía de observación elaborada por los autores. La descripción y el diseño del instrumento se encuentran en el anexo 02.



Crecimiento del maíz	Altura de la planta	Observación	Guía de observación N° 03	Prueba Z utilizando la herramienta XLSTAT	Guía de observación elaborada por los autores. La descripción y el diseño del instrumento se encuentran en el anexo 03.
	Tiempo	Observación	Guía de observación N° 04	Prueba Z utilizando la herramienta XLSTAT	Guía de observación elaborada por los autores. La descripción y el diseño del instrumento se encuentran en el anexo 04.

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4. Procedimiento**

En el sistema inteligente de riego con energía renovable en control de agua y crecimiento del maíz, se utilizó la observación como técnica de recolección de datos, la cual consistió en ver el comportamiento de las plantas, con el fin de obtener información necesaria para la investigación. También, se diseñaron guías de observación como instrumento de medición, el cual consistió en tomar apuntes de los valores obtenidos al tomar mediciones de las plantas según los datos requeridos en la guía. Estas guías están compuestas por ítems que permiten medir el indicador de cada variable dependiente. Además, cuenta con una descripción para especificar qué es lo que se realiza en cada guía.

En la obtención de los elementos de la muestra se escogió 56 plantas para el grupo control y 56 para el grupo experimental. El responsable de realizar la prueba, fue al área de cultivo ubicado en la localidad de Callancas para observar el control del agua y crecimiento del maíz.

El sistema inteligente de riego con energía renovable está conformado por un generador eólico y solar, un módulo de control, el sistema de tuberías y sensores de humedad y lluvia. El generador eólico está conformado por una hélice con tres aspas mediante las cuales capta la fuerza del viento, para el centro de la hélice se utilizó un pedazo de metal en el cual se sujetaron las aspas que se realizaron de un tubo PVC de 4 pulgadas. La hélice también tiene una turbina mediante la cual convierte la energía mecánica del viento en energía eléctrica; este está realizado de un pedazo de metal en forma circular y unos imanes que se ubican cubriendo todo el campo del metal, esta pieza gira impulsada por las aspas y genera la energía que es recibida por otro componente de metal que se ubica a su alrededor y se encuentra cubierta con cobre en su parte inferior.

El generador también cuenta con una aleta ubicada en la parte posterior, la cual se encarga de ubicar al generador en posición de acuerdo a la dirección del viento, para esta aleta se

empleó una plancha de metal muy liviano. Así mismo, se tiene un generador de energía solar el cual está construido con dos paneles solares pequeños.

En la construcción del módulo de control se empleó como hardware el Arduino mega 2560 y una pantalla TFT LCD 3.5 pulgadas. El Arduino es el encargado de leer todos los datos de los sensores, activar las electroválvulas de acuerdo a los datos leídos, y muestra los datos al usuario. Además, el Arduino es el que guarda todos los datos de la lógica de programación para poner en funcionamiento a los componentes automáticos y enviar los datos de los sensores al servidor de Ubidots.

En el sistema de tuberías se utilizaron tubos PVC ½ pulgada mediante los cuales se conduce el agua a cada una de las plantas, se emplearon electroválvulas de ½ pulga para abrir y cerrar el flujo de agua de acuerdo a la orden producida por el Arduino. Se emplearon sensores de humedad para saber a qué grado de riego se encontraban las plantas y de acuerdo a eso mandar datos al Arduino para active o desactive las electroválvulas. Se empleó un sensor de lluvia para conocer el estado de clima y evitar el riego en caso de lluvia.

El sistema inteligente de riego con energía renovable se desarrolló en base a la metodología de sistemas embebidos el cual es empleado para sistemas que combinan hardware y software. Esta metodología cuenta con siete fases dentro de su ciclo de vida. El sistema se desarrolló de la siguiente manera en cada uno de sus procesos.

Administración del ciclo de vida: se realizó la administración de cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto para que cada uno se cumpla y complete de acuerdo a la metodología.

Análisis y diseño: se analizó la viabilidad del proyecto, se analizaron los requerimientos funcionales y no funcionales con los que debe cumplir el sistema inteligente de riego con energía renovable. Se realizó el diseño de los componentes de hardware (generador eólico, instalación de tuberías, módulo de control) y software (interfaces en el módulo de control).

Desarrollo del hardware: Se realizó la construcción del generador eólico con cada uno de sus componentes, se implementó el módulo de control con todos los circuitos que lo componen, y se hizo la instalación las electroválvulas en las tuberías.

Desarrollo del software: se realizó la implementación del software para poder controlar a los componentes de hardware, manipular y visualizar los datos que son recogidos por los sensores.

Integración y pruebas: se realizó la integración del sistema, se realizaron las pruebas para verificar el buen funcionamiento del sistema en el riego del maíz.

Administración del producto: Se realizó la administración constante del sistema riego automatizado.

Manufactura en serie: Se realizó capacitaciones a algunos agricultores del lugar, para que puedan usar el sistema en el riego del maíz. Se validaron algunas fallas que tenía el proyecto.

En la recolección de datos se utilizó un grupo experimental y un grupo de control. El experimental es la parte de la parcela de cultivo a la cual se le aplica el sistema inteligente con energía renovable, mientras que el grupo de control es la parte de la parcela que es cultivado de manera tradicional, es decir con ausencia del sistema inteligente con energía renovable. A los dos grupos se aplicó la post-prueba para conocer el comportamiento de las plantas en el riego tradicional y como cambia al ser cultivadas usando el sistema inteligente de riego con energía renovable, en un mismo periodo de tiempo. Esto también permitió conocer el comportamiento del agua de acuerdo a la manera en que se aplica a las plantas de maíz. Además, se pudo observar el crecimiento de maíz cuando se aplicaba el agua con el sistema inteligente de riego con energía renovable.

Luego de recolectar los datos para cada uno de los indicadores de cada dimensión de las variables, se procesó los datos aplicando las fórmulas de las dimensiones. Los datos recolectados para el control del agua fueron los que se muestran en el siguiente gráfico.

**Tabla 3**

Recolección de datos del control de agua

N°	Riego tradicional		Riego inteligente	
	Agua (l)	Tiempo (s)	Agua (l)	Tiempo (s)
1	0.536	67.000	0.750	96.000
2	0.536	67.000	0.825	96.000
3	0.536	67.000	0.990	96.000
4	0.536	67.000	0.975	96.000
5	0.536	67.000	1.000	96.000
6	0.536	67.000	0.925	96.000
7	0.536	67.000	1.015	96.000
8	0.541	48.000	0.920	95.000
9	0.541	48.000	1.020	95.000
10	0.541	48.000	0.950	95.000
11	0.541	48.000	0.875	95.000
12	0.541	48.000	1.050	95.000
13	0.541	48.000	1.030	95.000
14	0.541	48.000	1.050	95.000
15	0.490	81.000	0.920	90.000
16	0.490	81.000	1.010	90.000
17	0.490	81.000	0.960	90.000
18	0.490	81.000	1.010	90.000
19	0.490	81.000	1.040	90.000
20	0.490	81.000	1.030	90.000
21	0.490	81.000	1.025	90.000
22	0.457	46.000	0.850	79.000
23	0.457	46.000	0.895	79.000
24	0.457	46.000	0.825	79.000
25	0.457	46.000	1.000	79.000
26	0.457	46.000	1.000	79.000
27	0.457	46.000	1.000	79.000
28	0.457	46.000	1.050	79.000
29	0.429	73.000	0.875	76.000
30	0.429	73.000	0.960	76.000
31	0.429	73.000	0.850	76.000
32	0.429	73.000	0.900	76.000
33	0.429	73.000	0.940	76.000
34	0.429	73.000	0.975	76.000
35	0.429	73.000	0.980	76.000
36	0.407	92.000	0.950	72.000
37	0.407	92.000	0.975	72.000
38	0.407	92.000	1.000	72.000
39	0.407	92.000	0.975	72.000
40	0.407	92.000	1.000	72.000

41	0.407	92.000	1.000	72.000
42	0.407	92.000	0.950	72.000
43	0.493	101.000	0.875	79.000
44	0.493	101.000	0.875	79.000
45	0.493	101.000	0.840	79.000
46	0.493	101.000	0.900	79.000
47	0.493	101.000	0.950	79.000
48	0.493	101.000	0.900	79.000
49	0.493	101.000	0.920	79.000
50	0.486	52.000	0.980	90.000
51	0.486	52.000	0.825	90.000
52	0.486	52.000	0.900	90.000
53	0.486	52.000	0.910	90.000
54	0.486	52.000	1.025	90.000
55	0.486	52.000	1.000	90.000
56	0.486	52.000	1.000	90.000
<b>Suma</b>	<b>26.870</b>	<b>3920.000</b>	<b>53.220</b>	<b>4739.000</b>
<b>Promedio</b>	<b>0.480</b>	<b>70.000</b>	<b>0.950</b>	<b>84.625</b>

Fuente: Elaboración propia

Estos datos fueron procesados utilizando la fórmula del volumen de consumo de agua.

$$VCA = \frac{CA}{T}$$

Donde:

VCA: Volumen de consumo de agua.

CA: Consumo de agua en litros.

T: Tiempo en segundos.

Después de encontrar el volumen de consumo de agua se despeja la fórmula para encontrar el consumo de agua, lo cual queda de la siguiente manera.

$$CA = VCA \times T$$

Donde:

CA: Consumo de agua.

VCA: Volumen de consumo de agua en litros por segundo.

T: Tiempo en segundos.

Los datos recolectados para el crecimiento del maíz fueron los que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4**

Recolección de datos del crecimiento del maíz

N° planta	Riego tradicional		Riego inteligente	
	Altura (cm)	Tiempo (días)	Altura (cm)	Tiempo (días)
1	9.00	14	12.80	14
2	10.50	14	13.60	14
3	13.40	14	11.00	14
4	11.50	14	13.00	14
5	11.00	14	12.90	14
6	12.00	14	14.50	14
7	13.00	14	14.20	14
8	7.00	14	12.00	14
9	8.50	14	12.00	14
10	11.00	14	13.50	14
11	14.00	14	11.00	14
12	12.00	14	13.50	14
13	10.00	14	12.50	14
14	11.00	14	13.50	14
15	9.00	14	12.00	14
16	9.40	14	11.50	14
17	11.50	14	13.00	14
18	12.50	14	11.50	14
19	13.40	14	11.50	14
20	10.00	14	14.00	14
21	12.00	14	11.50	14
22	11.00	14	12.00	14
23	14.00	14	12.00	14
24	11.50	14	11.00	14
25	9.00	14	11.00	14
26	13.00	14	12.00	14
27	14.00	14	10.00	14
28	11.00	14	11.00	14
29	7.50	14	14.00	14
30	10.00	14	12.90	14
31	9.80	14	11.00	14
32	10.50	14	12.00	14
33	12.00	14	13.00	14
34	13.00	14	13.50	14
35	11.00	14	11.60	14
36	8.00	14	11.00	14

37	13.00	14	11.00	14
38	14.00	14	11.00	14
39	11.00	14	13.50	14
40	13.40	14	12.00	14
41	15.00	14	11.00	14
42	11.70	14	13.50	14
43	9.50	14	14.00	14
44	11.10	14	11.00	14
45	12.00	14	13.00	14
46	11.50	14	13.00	14
47	10.50	14	13.00	14
48	9.50	14	12.00	14
49	11.30	14	13.00	14
50	12.00	14	11.00	14
51	11.00	14	13.00	14
52	12.40	14	12.50	14
53	12.80	14	12.00	14
54	13.00	14	12.70	14
55	10.00	14	14.00	14
56	10.50	14	14.00	14
<b>Suma</b>	632.20	784	693.20	784
<b>Promedio</b>	11.29	14	12.38	14

Fuente: Elaboración propia

Estos datos se utilizaron para encontrar la tasa de crecimiento del maíz mediante la siguiente fórmula.

$$TCM = \frac{A_2 - A_1}{T}$$

Donde:

TCM: Tasa de crecimiento del maíz.

A<sub>1</sub>: Altura de la planta en centímetros de la primera medición.

A<sub>2</sub>: Altura de la planta en centímetros de la segunda medición.

T: Tiempo en días que transcurre desde la primera medición hasta la segunda medición.

Para encontrar la tasa de crecimiento del maíz, se consideró como primera medición cuando se sembró el maíz, por lo tanto, el valor de A<sub>1</sub> fue igual a cero para todas las plantas y el valor de A<sub>2</sub> fue lo que se muestra en la tabla anterior. Luego de encontrar el valor de la tasa



de crecimiento, se despejó la fórmula para encontrar el crecimiento del maíz, y se realizó con la siguiente fórmula.

$$CM = TCM \times T$$

Donde:

CM: Crecimiento del maíz.

TCM: Tasa de crecimiento del maíz.

T: Tiempo en días que pasó desde que se sembró el maíz.

Después, se utilizó la técnica estadística Prueba Z para el análisis de datos, para el cual consistió en establecer un intervalo de confianza para probar la hipótesis planteada en la investigación. Además, se usó la herramienta XLSTAT, el cual nos facilitó la realización de gráficos y análisis de datos estadísticos.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

A continuación, se muestran e interpretan los resultados de la aplicación del sistema inteligente de riego con energía renovable en el control de agua en Callancas, Otuzco durante el año 2019. Los datos fueron recolectados haciendo uso de hojas de observación.

**Tabla 5**

Control de agua (l)

N° Planta de maíz	Grupo Control (l)	Grupo Experimental (l)	Diferencia (d)	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	18.284	3.750	14.534	5.208	27.123
2	18.284	4.125	14.159	4.833	23.358
3	18.284	4.950	13.334	4.008	16.064
4	18.284	4.875	13.409	4.083	16.671
5	18.284	5.000	13.284	3.958	15.666
6	18.284	4.625	13.659	4.333	18.775
7	18.284	5.075	13.209	3.883	15.078
8	15.495	4.648	10.847	1.521	2.313
9	15.495	5.154	10.341	1.015	1.030
10	15.495	4.800	10.695	1.369	1.874
11	15.495	4.421	11.074	1.748	3.056
12	15.495	5.305	10.190	0.864	0.746
13	15.495	5.204	10.291	0.965	0.931
14	15.495	5.305	10.190	0.864	0.746
15	14.504	4.907	9.597	0.271	0.073
16	14.504	5.387	9.117	0.209	0.044
17	14.504	5.120	9.384	0.058	0.003
18	14.504	5.387	9.117	0.209	0.044
19	14.504	5.547	8.957	0.369	0.136
20	14.504	5.493	9.011	0.315	0.099
21	14.504	5.467	9.037	0.289	0.084
22	10.124	5.165	4.959	4.367	19.071
23	10.124	5.438	4.686	4.640	21.530
24	10.124	5.013	5.111	4.215	17.766
25	10.124	6.076	4.048	5.278	27.857
26	10.124	6.076	4.048	5.278	27.857
27	10.124	6.076	4.048	5.278	27.857
28	10.124	6.380	3.744	5.582	31.159
29	12.625	5.526	7.099	2.227	4.960
30	12.625	6.063	6.562	2.764	7.640

31	12.625	5.368	7.257	2.069	4.281
32	12.625	5.684	6.941	2.385	5.688
33	12.625	5.937	6.688	2.638	6.959
34	12.625	6.158	6.467	2.859	8.174
35	12.625	6.189	6.436	2.890	8.352
36	15.255	6.333	8.922	0.404	0.163
37	15.255	6.500	8.755	0.571	0.326
38	15.255	6.667	8.588	0.738	0.545
39	15.255	6.500	8.755	0.571	0.326
40	15.255	6.667	8.588	0.738	0.545
41	15.255	6.667	8.588	0.738	0.545
42	15.255	6.333	8.922	0.404	0.163
43	19.722	5.316	14.406	5.080	25.806
44	19.722	5.316	14.406	5.080	25.806
45	19.722	5.104	14.618	5.292	28.005
46	19.722	5.468	14.254	4.928	24.285
47	19.722	5.772	13.950	4.624	21.381
48	19.722	5.468	14.254	4.928	24.285
49	19.722	5.590	14.132	4.806	23.098
50	12.143	5.227	6.916	2.410	5.808
51	12.143	4.400	7.743	1.583	2.506
52	12.143	4.800	7.343	1.983	3.932
53	12.143	4.853	7.290	2.036	4.145
54	12.143	5.467	6.676	2.650	7.022
55	12.143	5.333	6.810	2.516	6.330
56	12.143	5.333	6.810	2.516	6.330
<b>SUMATORIA</b>	<b>827.064</b>	<b>304.808</b>	<b>522.256</b>		<b>574.420</b>
<b>MEDIA</b>	<b>14.769</b>	<b>5.443</b>	<b>9.326</b>	<b>Varianza(s)</b>	<b>10.444</b>

Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron analizados usando la prueba Z en el software estadístico XLSTAT.

#### Estadísticos descriptivos

	N° de muestras	Suma	Media	Varianza
Control de agua	56	522,256	9,32600	10,444
N válido (por lista)	56			

**Figura 17:** Varianza del control de agua

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis, obtuvimos el valor de 22.719 para el estadístico de prueba Z,

que al ser comparado con el valor  $Z = 1.960$ , permite concluir que efectivamente, sistema

inteligente de riego con energía renovable tiene una influencia positiva sobre el control de

agua. Lo mismo podemos apreciar en el siguiente gráfico:

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Grupo Control (Its)	56	0	56	10.124	19.722	14.769	3.002
Grupo Experimental (Its)	56	0	56	3.750	6.667	5.443	0.653

Prueba z para dos muestras independientes / Prueba bilateral:

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:

[ 8.521; 10.131 ]

Diferencia	9.326
z (Valor observado)	22.719
z  (Valor crítico)	1.960
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

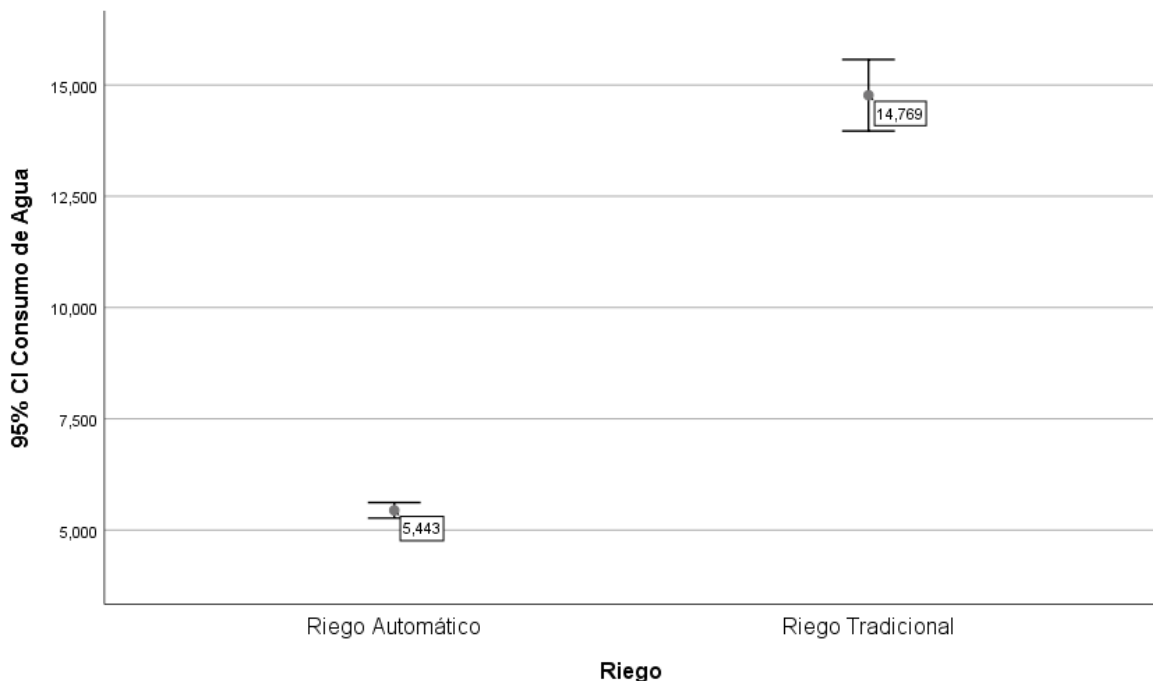
H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

**Figura 18:** Prueba Z del control de agua

Fuente: Elaboración propia



**Figura 19:** Diferencia de promedios del control de agua

Fuente: Elaboración propia

## Análisis del volumen de consumo de agua

A continuación, se muestran e interpretan los resultados de la aplicación sistema inteligente

de riego con energía renovable en el volumen de consumo de agua del control de agua en

Callancas, Otuzco durante el año 2019. Los datos fueron recolectados haciendo uso de la

hoja de observación.

**Tabla 6**

Volumen de consumo de agua

N° Planta de maíz	Grupo Control (l/s)	Grupo Experimental (l/s)	Diferencia (d)	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	0.044	0.008	0.036	0.003	0.000007
2	0.044	0.009	0.035	0.002	0.000003
3	0.044	0.010	0.034	0.001	0.000001
4	0.044	0.010	0.034	0.001	0.000001
5	0.044	0.010	0.034	0.001	0.000001
6	0.044	0.010	0.034	0.001	0.000001
7	0.044	0.011	0.033	0.000	0.000000
8	0.041	0.010	0.031	0.002	0.000005
9	0.041	0.011	0.030	0.003	0.000011
10	0.041	0.010	0.031	0.002	0.000005
11	0.041	0.009	0.032	0.001	0.000002
12	0.041	0.011	0.030	0.003	0.000011
13	0.041	0.011	0.030	0.003	0.000011
14	0.041	0.011	0.030	0.003	0.000011
15	0.046	0.010	0.036	0.003	0.000007
16	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
17	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
18	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
19	0.046	0.012	0.034	0.001	0.000001
20	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
21	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
22	0.042	0.011	0.031	0.002	0.000005
23	0.042	0.011	0.031	0.002	0.000005
24	0.042	0.010	0.032	0.001	0.000002
25	0.042	0.013	0.029	0.004	0.000018
26	0.042	0.013	0.029	0.004	0.000018
27	0.042	0.013	0.029	0.004	0.000018
28	0.042	0.013	0.029	0.004	0.000018
29	0.046	0.012	0.034	0.001	0.000001
30	0.046	0.013	0.033	0.000	0.000000

31	0.046	0.011	0.035	0.002	0.000003
32	0.046	0.012	0.034	0.001	0.000001
33	0.046	0.012	0.034	0.001	0.000001
34	0.046	0.013	0.033	0.000	0.000000
35	0.046	0.013	0.033	0.000	0.000000
36	0.048	0.013	0.035	0.002	0.000003
37	0.048	0.014	0.034	0.001	0.000001
38	0.048	0.014	0.034	0.001	0.000001
39	0.048	0.014	0.034	0.001	0.000001
40	0.048	0.014	0.034	0.001	0.000001
41	0.048	0.014	0.034	0.001	0.000001
42	0.048	0.013	0.035	0.002	0.000003
43	0.047	0.011	0.036	0.003	0.000007
44	0.047	0.011	0.036	0.003	0.000007
45	0.047	0.011	0.036	0.003	0.000007
46	0.047	0.011	0.036	0.003	0.000007
47	0.047	0.012	0.035	0.002	0.000003
48	0.047	0.011	0.036	0.003	0.000007
49	0.047	0.012	0.035	0.002	0.000003
50	0.043	0.011	0.032	0.001	0.000002
51	0.043	0.009	0.034	0.001	0.000001
52	0.043	0.010	0.033	0.000	0.000000
53	0.043	0.010	0.033	0.000	0.000000
54	0.043	0.011	0.032	0.001	0.000002
55	0.043	0.011	0.032	0.001	0.000002
56	0.043	0.011	0.032	0.001	0.000002
<b>SUMATORIA</b>	<b>2.499</b>	<b>0.636</b>	<b>1.863</b>		<b>0.000239</b>
<b>MEDIA</b>	<b>0.045</b>	<b>0.011</b>	<b>0.033</b>	<b>Varianza(s)</b>	<b>0.000004</b>

Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron analizados usando la prueba Z en el software estadístico XLSTAT.

#### Estadísticos descriptivos

	N° de Plantas	Suma	Media	Varianza
Volumen de consumo de agua	56	1,86300	,0332679	0,000004
N válido (por lista)	56			

**Figura 20:** Varianza del volumen de consumo de agua

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis, obtuvimos el valor 90.307 para el estadístico de prueba z, que al ser comparado con el valor  $z = 1.960$ , permite concluir que efectivamente, el sistema inteligente de riego con energía renovable tiene una influencia positiva sobre la dimensión del volumen de consumo de agua del control de agua. Lo mismo podemos apreciar en el siguiente gráfico:

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Grupo Control (lts/seg)	56	0	56	0.041	0.048	0.045	0.002
Grupo Experimental (lts/seg)	56	0	56	0.008	0.014	0.011	0.001

**Prueba z para dos muestras independientes / Prueba bilateral:**

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:  
[ 0.033; 0.034 ]

Diferencia	0.033
z (Valor observado)	90.307
z  (Valor crítico)	1.960
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

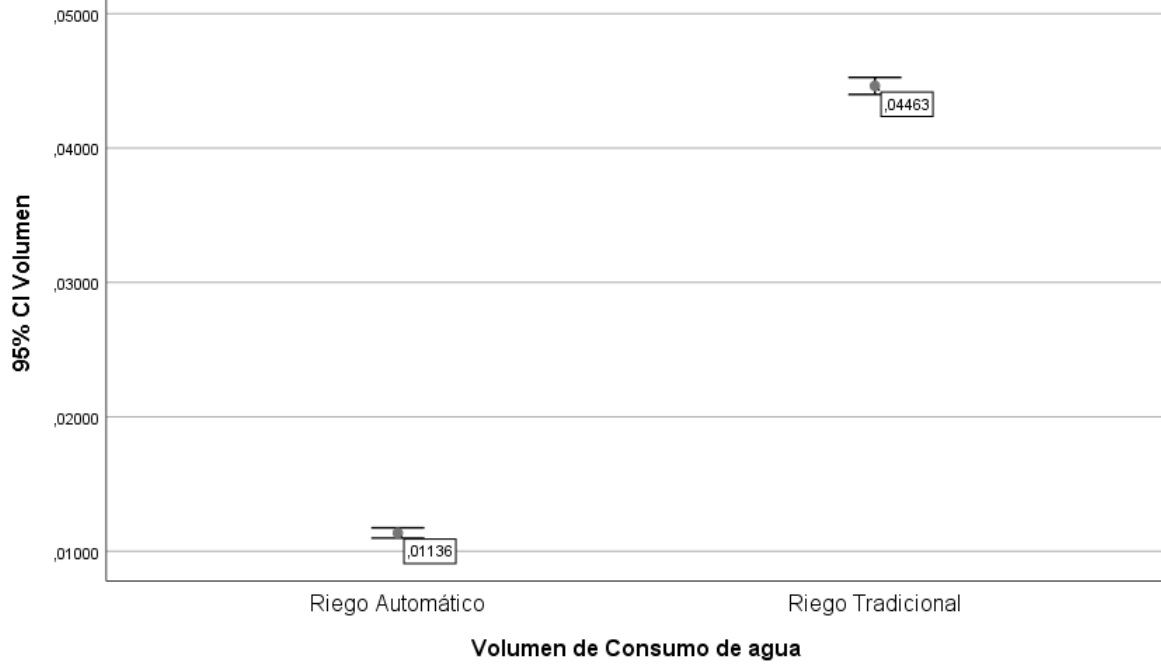
H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

**Figura 21:** Prueba Z del volumen de consumo de agua

Fuente: Elaboración propia



**Figura 22:** Diferencia de promedios del volumen de consumo de agua  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran e interpretan los resultados de la aplicación del sistema inteligente de riego con energía renovable en el crecimiento del maíz en Callancas, Otuzco durante el año 2019. Los datos fueron recolectados haciendo uso de hojas de observación.



**Tabla 7**

Crecimiento del maíz (cm)

N° de planta	Grupo control (cm)	Grupo experimental (cm)	Diferencia (d)	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	13.50	19.20	-5.700	-4.066	16.533
2	15.75	20.40	-4.650	-3.016	9.097
3	20.10	16.50	3.600	5.234	27.394
4	17.25	19.50	-2.250	-0.616	0.380
5	16.50	19.35	-2.850	-1.216	1.479
6	18.00	21.75	-3.750	-2.116	4.478
7	19.50	21.30	-1.800	-0.166	0.028
8	10.50	18.00	-7.500	-5.866	34.411
9	12.75	18.00	-5.250	-3.616	13.076
10	16.50	20.25	-3.750	-2.116	4.478
11	21.00	16.50	4.500	6.134	37.625
12	18.00	20.25	-2.250	-0.616	0.380
13	15.00	18.75	-3.750	-2.116	4.478
14	16.50	20.25	-3.750	-2.116	4.478
15	13.50	18.00	-4.500	-2.866	8.214
16	14.10	17.25	-3.150	-1.516	2.298
17	17.25	19.50	-2.250	-0.616	0.380
18	18.75	17.25	1.500	3.134	9.822
19	20.10	17.25	2.850	4.484	20.106
20	15.00	21.00	-6.000	-4.366	19.063
21	18.00	17.25	0.750	2.384	5.683
22	16.50	18.00	-1.500	0.134	0.018
23	21.00	18.00	3.000	4.634	21.473
24	17.25	16.50	0.750	2.384	5.683
25	13.50	16.50	-3.000	-1.366	1.866
26	19.50	18.00	1.500	3.134	9.822
27	21.00	15.00	6.000	7.634	58.277
28	16.50	16.50	0.000	1.634	2.670
29	11.25	21.00	-9.750	-8.116	65.871
30	15.00	19.35	-4.350	-2.716	7.377
31	14.70	16.50	-1.800	-0.166	0.028
32	15.75	18.00	-2.250	-0.616	0.380
33	18.00	19.50	-1.500	0.134	0.018
34	19.50	20.25	-0.750	0.884	0.781
35	16.50	17.40	-0.900	0.734	0.539
36	12.00	16.50	-4.500	-2.866	8.214

37	19.50	16.50	3.000	4.634	21.473
38	21.00	16.50	4.500	6.134	37.625
39	16.50	20.25	-3.750	-2.116	4.478
40	20.10	18.00	2.100	3.734	13.942
41	22.50	16.50	6.000	7.634	58.277
42	17.55	20.25	-2.700	-1.066	1.137
43	14.25	21.00	-6.750	-5.116	26.174
44	16.65	16.50	0.150	1.784	3.182
45	18.00	19.50	-1.500	0.134	0.018
46	17.25	19.50	-2.250	-0.616	0.380
47	15.75	19.50	-3.750	-2.116	4.478
48	14.25	18.00	-3.750	-2.116	4.478
49	16.95	19.50	-2.550	-0.916	0.839
50	18.00	16.50	1.500	3.134	9.822
51	16.50	19.50	-3.000	-1.366	1.866
52	18.60	18.75	-0.150	1.484	2.202
53	19.20	18.00	1.200	2.834	8.031
54	19.50	19.05	0.450	2.084	4.343
55	15.00	21.00	-6.000	-4.366	19.063
56	15.75	21.00	-5.250	-3.616	13.076
<b>SUMATORIA</b>	<b>948.30</b>	<b>1039.80</b>	<b>-91.500</b>		<b>641.776</b>
<b>MEDIA</b>	<b>16.93</b>	<b>18.57</b>	<b>-1.634</b>	<b>Varianza (s)</b>	<b>11.669</b>

Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron analizados usando la prueba Z en el software estadístico XLSTAT

#### Estadísticos descriptivos

	N	Suma	Media	Varianza
Crecimiento del maíz	56	-91,50	-1,6339	11,669
N válido (por lista)	56			

**Figura 23:** Varianza del crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis, obtuvimos el valor -3.934 para el estadístico de prueba Z, que al ser comparado con el valor  $Z = 1.960$ , permite concluir que efectivamente, el sistema inteligente de riego con energía renovable tiene una influencia positiva sobre el crecimiento del maíz. Lo mismo podemos apreciar en el siguiente gráfico:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Grupo control (cm)	56	0	0	56	10.500	22.500	16.934
Grupo experimental (cm)	56	0	0	56	15.000	21.750	18.568

**Prueba z para dos muestras independientes / Prueba bilateral:**

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:  
[-2.448; -0.820]

Diferencia	-1.634
z (Valor observado)	-3.934
z  (Valor crítico)	1.960
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

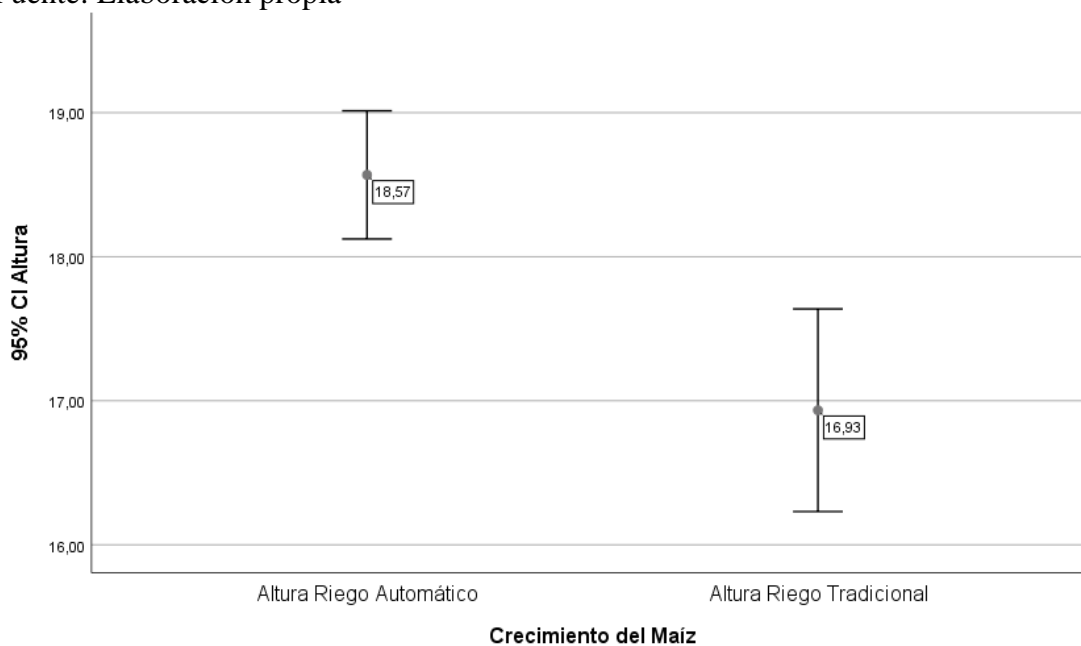
H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

**Figura 24:** Prueba Z del crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia



**Figura 25:** Diferencia de promedios de crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia

### Análisis de la tasa de crecimiento del maíz

A continuación, se muestran e interpretan los resultados de la aplicación de sistema inteligente de riego con energía renovable en la tasa de crecimiento del maíz del crecimiento del maíz en Callancas, Otuzco durante el año 2019. Los datos fueron recolectados haciendo uso de la hoja de observación.

**Tabla 8**

Tasa de crecimiento del maíz (cm/día)

N° de planta	Grupo control (cm/día)	Grupo experimental (cm/día)	Diferencia (d)	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	0.6429	0.9143	-0.2714	-0.1936	0.0375
2	0.7500	0.9714	-0.2214	-0.1436	0.0206
3	0.9571	0.7857	0.1714	0.2492	0.0621
4	0.8214	0.9286	-0.1072	-0.0294	0.0009
5	0.7857	0.9214	-0.1357	-0.0579	0.0034
6	0.8571	1.0357	-0.1786	-0.1008	0.0102
7	0.9286	1.0143	-0.0857	-0.0079	0.0001
8	0.5000	0.8571	-0.3571	-0.2793	0.0780
9	0.6071	0.8571	-0.2500	-0.1722	0.0297
10	0.7857	0.9643	-0.1786	-0.1008	0.0102
11	1.0000	0.7857	0.2143	0.2921	0.0853
12	0.8571	0.9643	-0.1072	-0.0294	0.0009
13	0.7143	0.8929	-0.1786	-0.1008	0.0102
14	0.7857	0.9643	-0.1786	-0.1008	0.0102
15	0.6429	0.8571	-0.2142	-0.1364	0.0186
16	0.6714	0.8214	-0.1500	-0.0722	0.0052
17	0.8214	0.9286	-0.1072	-0.0294	0.0009
18	0.8929	0.8214	0.0715	0.1493	0.0223
19	0.9571	0.8214	0.1357	0.2135	0.0456
20	0.7143	1.0000	-0.2857	-0.2079	0.0432
21	0.8571	0.8214	0.0357	0.1135	0.0129
22	0.7857	0.8571	-0.0714	0.0064	0.0000
23	1.0000	0.8571	0.1429	0.2207	0.0487
24	0.8214	0.7857	0.0357	0.1135	0.0129
25	0.6429	0.7857	-0.1428	-0.0650	0.0042
26	0.9286	0.8571	0.0715	0.1493	0.0223
27	1.0000	0.7143	0.2857	0.3635	0.1321

28	0.7857	0.7857	0.0000	0.0778	0.0061
29	0.5357	1.0000	-0.4643	-0.3865	0.1494
30	0.7143	0.9214	-0.2071	-0.1293	0.0167
31	0.7000	0.7857	-0.0857	-0.0079	0.0001
32	0.7500	0.8571	-0.1071	-0.0293	0.0009
33	0.8571	0.9286	-0.0715	0.0063	0.0000
34	0.9286	0.9643	-0.0357	0.0421	0.0018
35	0.7857	0.8286	-0.0429	0.0349	0.0012
36	0.5714	0.7857	-0.2143	-0.1365	0.0186
37	0.9286	0.7857	0.1429	0.2207	0.0487
38	1.0000	0.7857	0.2143	0.2921	0.0853
39	0.7857	0.9643	-0.1786	-0.1008	0.0102
40	0.9571	0.8571	0.1000	0.1778	0.0316
41	1.0714	0.7857	0.2857	0.3635	0.1321
42	0.8357	0.9643	-0.1286	-0.0508	0.0026
43	0.6786	1.0000	-0.3214	-0.2436	0.0593
44	0.7929	0.7857	0.0072	0.0850	0.0072
45	0.8571	0.9286	-0.0715	0.0063	0.0000
46	0.8214	0.9286	-0.1072	-0.0294	0.0009
47	0.7500	0.9286	-0.1786	-0.1008	0.0102
48	0.6786	0.8571	-0.1785	-0.1007	0.0101
49	0.8071	0.9286	-0.1215	-0.0437	0.0019
50	0.8571	0.7857	0.0714	0.1492	0.0223
51	0.7857	0.9286	-0.1429	-0.0651	0.0042
52	0.8857	0.8929	-0.0072	0.0706	0.0050
53	0.9143	0.8571	0.0572	0.1350	0.0182
54	0.9286	0.9071	0.0215	0.0993	0.0099
55	0.7143	1.0000	-0.2857	-0.2079	0.0432
56	0.7500	1.0000	-0.2500	-0.1722	0.0297
<b>SUMATORIA</b>	<b>45.1571</b>	<b>49.5143</b>	<b>-4.3571</b>		<b>1.4553</b>
<b>MEDIA</b>	<b>0.8064</b>	<b>0.8842</b>	<b>-0.0778</b>	<b>Varianza (s)</b>	<b>0.0265</b>

Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron analizados usando la prueba Z en el software estadístico XLSTAT.

#### Estadísticos descriptivos

	N	Suma	Media	Varianza
Tasa de crecimiento de maíz	56	-4,36	-,0778	,026
N válido (por lista)	56			

**Figura 26:** Varianza de la tasa de crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis, obtuvimos el valor -3.934 para el estadístico de prueba Z, que al ser comparado con el valor  $Z = 1.960$ , permite concluir que efectivamente, el sistema inteligente de riego con energía renovable tiene una influencia positiva sobre la dimensión tasa de crecimiento del maíz. Lo mismo podemos apreciar en el siguiente gráfico:

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Grupo control (cm/día)	56	0	56	0.500	1.071	0.806	0.125
Grupo experimental (cm/	56	0	56	0.714	1.036	0.884	0.079

Prueba z para dos muestras independientes / Prueba bilateral:

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:  
[ -0.117; -0.039 ]

Diferencia	-0.078
z (Valor observado)	-3.934
z  (Valor crítico)	1.960
valor-p (bilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

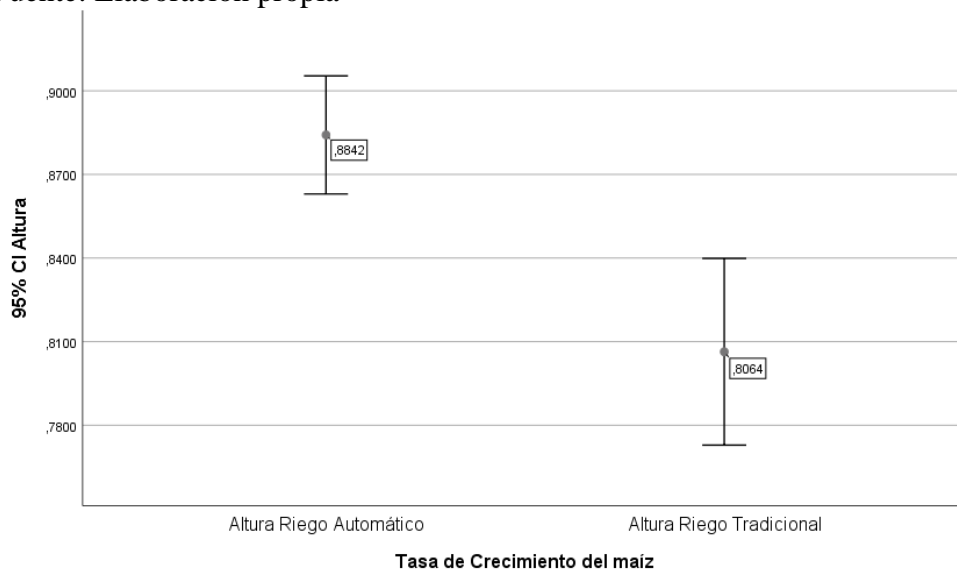
H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

**Figura 27:** Prueba Z de la tasa de crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia



**Figura 28:** Diferencia de promedios de la tasa de crecimiento del maíz

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De la tabla 3, podemos apreciar que el valor promedio para el control de agua fue 14.769 litros en el grupo de control sin la implementación del sistema inteligente de riego con energía renovable. Conjuntamente, para el grupo experimental con el sistema inteligente de riego con energía renovable, el valor obtenido fue 5.443 litros. En los resultados mostrados en la tabla 4, observamos que el valor promedio para el control de agua en el volumen de consumo de agua fue 0.045 litros por segundo del grupo control sin la implementación de sistema inteligente de riego con energía renovable, mientras que el valor fue 0.011 litros por segundo, en el grupo experimental. Esto demuestra una mejora del 75.6%, valor que es superior al mostrado en el trabajo de Parada & Carrillo (2014), 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. Esto se debe a que el proyecto actual utiliza electroválvulas y sensores para cada surco, el cual tiene más control sobre el agua utilizada en la parcela, mientras que en el artículo mencionado utilizó una electroválvula y un sensor para cada parcela. De la tabla 5, podemos apreciar que el valor promedio para el crecimiento del maíz fue 16.93 centímetros en el grupo de control sin el sistema inteligente de riego con energía renovable. Para el grupo experimental con el sistema inteligente de riego con energía renovable, el valor obtenido fue de 18.57 centímetros. En los resultados mostrados en la tabla 6, observamos que el valor promedio para el crecimiento del maíz en la tasa de crecimiento del maíz fue 0.8064 centímetros/día del grupo de control sin la implementación de sistema inteligente de

riego con energía renovable, mientras que el valor fue 0.8842 centímetros/día, en el grupo experimental. Esto demuestra una mejora del 9.6%.



## 4.2 Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo de investigación, se llegaron a las siguientes 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 volumen de consumo de agua del control de agua según los resultados obtenidos del análisis de datos en el control de agua.
- Se demostró la influencia del sistema inteligente de riego con energía renovable en la tasa de crecimiento del crecimiento de maíz según los resultados obtenidos del análisis de datos del crecimiento de maíz.

### 4.3 Recomendaciones

- Se recomienda integrar el sistema con una base de datos para que todos los datos del riego que se realiza se almacenen y puedan ser consultados luego como estadísticas para conocer la cantidad de agua que se está consumiendo, y la frecuencia con que se realiza el riego automático.
- Es recomendable desarrollar una aplicación móvil que permita estar monitoreando el funcionamiento del sistema, que se pueda saber en qué momento el sistema inicia el riego automático, en qué momento termina el riego o cuando el sistema se apaga porque hay lluvia en el lugar. El poder ver todos los datos de los sensores desde cualquier lugar podría ayudar a detectar en caso de que haya una anomalía en el sistema.
- Se recomienda implementar la funcionalidad para poder programar el riego para un día y una hora determinada, esto puede ayudar a los usuarios en caso de que no tengan agua continuamente y no puedan estar presentes el día en que tendrán agua.

## REFERENCIAS

- Agard, H. (2015). *Maíz crecimiento y desarrollo*. Estados Unidos: Pioneer.
- Agencia de Noticias Europa Press. (24 de agosto de 2018). *La ONU, preocupada por el grave impacto de la sequía en Centroamérica*. Recuperado de <https://www.europapress.es/internacional/noticia-onu-preocupada-grave-impacto-sequia-centroamerica-20180824110453.html>
- Agencia EFE. (22 de marzo de 2018). *La ONU inicia una década de acciones para evitar una crisis global del agua*. Recuperado de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/la-onu-inicia-una-decada-de-acciones-para-evitar-tesis-global-del-agua/20000013-3561973>
- Agromática. (s.f.). *Humedad del suelo. Cómo se comporta y su importancia*. Recuperado de <https://www.agromatica.es/humedad-del-suelo/>
- Alarcón, Á., Arias, G., Díaz, C. & Sotto, J. (septiembre, 2017). *Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en Corhuila. 4to Congreso Internacional AmITIC 2017, Popayán, Colombia*. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1470/2116>
- Alarcón, Á., Arias, G., Díaz, C. & Sotto, J. (enero, 2018). *Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. Ingeniería Solidaria, 14(24)*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/326793288>
- Almeida, E., Camejo, L. & Santiesteban, C. (septiembre, 2017). *La fertirrigación inteligente, pilar de una agricultura sostenible. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 11(3), 36-49*. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcci/v11n3/rcci04317.pdf>
- Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productos de Campo. (octubre, 2018). *Ficha Técnica del Maíz*. Recuperado de <http://siafemor.inifap.gob.mx/anec/ficha-tecnica-maiz.php>
- Brown, O., Méndez, N. & Bernal, M. (marzo, 2018). *Evaluación de un sistema de micro irrigación accionado por energía eólica. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 27(1), 13-21*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/331012694>
- Cadena, V. (2014). *Hablemos de riego (1 ed.)*. Quito: CONGOPE.
- Carrod electrónica (s.f.). *Módulo GPRS/GSM Shield con Antena Integrada SIM900*. Recuperado de <https://www.carrod.mx/products/modulo-gsm-gprs-sim900>

- Castro, N., Chamorro, L. & Viteri, C. (diciembre, 2016). Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 106-116. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a10.pdf>
- Cervantes, W., Santana, L. & Molina, B. (setiembre, 2016). Arduino en la automatización de los sistemas de riego. *Revista Colombiana de Computación*, 17(2), 90-101. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/325429549>
- Colina, A., Vives, A., Bagula, A., Zennaro, M. & Pietrosevoli, E. (2015). *Internet de las cosas (1a ed.)*. Recuperado de <http://wireless.ictp.it/Papers/InternetdelasCosas.pdf>
- Collado, C. (2018). *El mercado de tratamiento de agua potable y residual en India*. España: ICEX España Exportación e Inversiones.
- Collado, C. & Sáez, Y. (julio, 2017). Sistema de Riego Inteligente para Optimizar el Consumo de Agua en Cultivos en Panamá. *15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Global Partnerships for Development and Engineering Education"*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/318909544>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT]. (s.f.). *Maíz*. Recuperado de <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Cruz, O. (2013). *El cultivo del maíz. Manual para el cultivo del maíz en Honduras (3a ed.)*. Honduras.
- Culebro, M., Gómez, M., Cossío, A., López, J., Morales, N. & Guzmán, J. (diciembre, 2016). Modelo neurodifuso para el control de humedad del suelo en cultivo hidropónico para la planta de tomate. *Revista Tecnología Digital*, 6(1), 43-56. Recuperado de [http://www.revistatecnologiadigital.com/pdf/06\\_005\\_modelo\\_neurodifuso\\_control\\_humedad\\_hidroponico\\_tomate.pdf](http://www.revistatecnologiadigital.com/pdf/06_005_modelo_neurodifuso_control_humedad_hidroponico_tomate.pdf)
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos usos y adaptaciones (1a ed.)*. Catamarca: INTA.
- Electrónica Embajadores. (2016). *Catálogo de Robótica, Sensores y Arduino*. Recuperado de 2018, de <https://www.electronicaembajadores.com/Admin/Content/ovccz5rb.pdf>
- Enríquez, R. (2009). *Guía de usuario de Arduino*. San Francisco, California: Creative Commons.
- Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central [FOCER]. (2002). *Manuales sobre energía renovable. Eólica (1a ed.)*. San José, Costa Rica: Biomass Users Network.

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

Gobierno Regional La Libertad. (20 de marzo de 2018). *Gobierno Regional La Libertad hace llamado al uso racional y cuidado del agua*. Recuperado de <http://www.regionlalibertad.gob.pe/noticias/regionales/8760-gobierno-regional-la-libertad-hace-llamado-al-uso-racional-y-cuidado-del-agua>

González, M. (julio, 2017). Sistema de riego automatizado. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 4(8). Recuperado de <http://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/693/921>

González, A., Vargas, A., Álvarez, S. & Reyes, V. (diciembre, 2017). Sistema de riego automatizado constituido de elementos electrónicos, dispositivo móvil y la construcción de aspersor. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 8(2). Recuperado de <http://www.ijopm.org/index.php/IJOPM/article/view/341/458>

Ignacio, Y. (diciembre, 2014). *Desarrollo de un sistema de control automático de riego por compuertas para la junta de regantes de Guarango Pampa – Utcubamba – Amazonas*. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1(2), 82-93. Recuperado de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/118/203>

Infobae. (31 de julio de 2018). *La sequía y las plagas afectan la zona agrícola más importante de Bolivia*. Recuperado de <https://www.infobae.com/america/america-latina/2018/07/31/la-sequia-y-las-plagas-afectan-la-zona-agricola-mas-importante-de-bolivia/>

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (23 de febrero de 2018). *Producción de maíz amarillo duro aumentó 37,4% en diciembre de 2017*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-maiz-amarillo-duro-aumento-374-en-diciembre-de-2017-10604/>

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>

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. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n1/v6n1a10.pdf>

Joy-It. (2017). *Mega2560 R3 Starter Kit*. [Kit de inicio Mega2560 R3]. Recuperado de <https://gzhls.at/blob/ldb/5/e/9/9/a2f20497f81bf5eff4e887cdce13885c583e.pdf>

Juganaru, M. (2014). *Introducción a la programación (1a ed.)*. México: PATRIA.

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.* (enero 11, 2018). Artículo único: “Declaratoria de necesidad pública e interés nacional”. Grupo Parlamentario de Fuerza Popular. Recuperado de [http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016\\_2021/Proyectos\\_de\\_Ley\\_y\\_de\\_Resoluciones\\_Legislativas/PL0230820180111.pdf](http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0230820180111.pdf)

Martín, P., Montoya, O. & Muñoz, G. (diciembre, 2017). Sistema de riego autónomo para pequeños cultivos basado en medición de temperatura y humedad. *Revista Politécnica*, 13(25), 65-74. Recuperado de <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1141/946>

Mayhua, E., Ludeña, J., Tamayo, J., Cuba, M., Núñez, Z., Gonzales, N. & Lozada, D. (2016). Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos. *Revista de Investigación (Arequipa)*, 7, 69-92. Recuperado de <http://ucsp.edu.pe/investigacion/wp-content/uploads/2017/01/4.-Sistema-de-riego-por-goteo-autom%C3%A1tico.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). Guía de capacitación y entrenamiento a las OUs. *Plan de distribución de agua*. Perú.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (s.f.). *Uso eficiente del agua en agricultura*. Bolivia.  
Naylamp Mechatronics (s.f.). Válvula solenoide ½” 12VCD. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoid-12-12vdc.html>

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

Palma, Y., Palma, G., Molina, B. & Santana, L. (setiembre, 2015). Sistema de riego automatizado para el cultivo de cacao. *Revista Tecnológica ESPOL*, 28(2), 100-107. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/325177922>

Parada, J. & Carrillo, J. (diciembre, 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. Recuperado de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/513/557>

Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Resolución Jefatural N° 068-2018 ANA: Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-Pe, aplicado*

a los cuerpos de agua continentales superficiales. Recuperado de

[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_068-2018-ana.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._068-2018-ana.pdf)

Reca, J., Martínez, J., Sánchez, J., Rivas, J. & Ferre, J. (2016). *Sistema de programación y control automático de un riego por goteo subterráneo en un cultivo de olivar.*

XXXIV Congreso Nacional de Riesgos. Recuperado de <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/41574/T-C-21.pdf?sequence=1>

Rendón, G., Cortes, J., Juárez, D. & Ortega, M. (octubre, 2015). Sistema de riego inteligente utilizando electroválvulas a partir de sensores de visión. *Pistas Educativas*, 113, 293-307. Recuperado de

<http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/viewFile/337/326>

Rendón, G., Domínguez, J., Martínez, M., Garay, Ó., & Juárez, D. (marzo, 2018). Sistema inteligente para controlar sistemas de riego en México. *Ventana Informática*, 45-57. Recuperado de

<http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/view/2721/3211>

Rodríguez, F., García, I., Vasquez, S. & Juarez, L. (septiembre, 2017). Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán. *Revista del Desarrollo Tecnológico*, 1(3), 8-17. Recuperado de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo\\_Tecnologico/vol1num3/Revista\\_del\\_Desarrollo\\_Tecnologico\\_V1\\_N3\\_2.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol1num3/Revista_del_Desarrollo_Tecnologico_V1_N3_2.pdf)

Saavedra, G. & González, M. (2014). *El cultivo de maíz choclero y dulce*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Sanchez, R. (11 de abril del 2018). *¿Qué es una válvula solenoide?* [Blog]. Recuperado de <https://inprocess.com.pe/que-es-una-valvula-solenoide/>

Schmerler, D., Velarde, J., Rodríguez, A., & Solís, B. (2019). *Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. (1a ed.)*. Lima. Perú. Recuperado de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)

Secretaría de Energía. (2008). *Energías Renovables*. Argentina. Recuperado de [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_eolica.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_eolica.pdf)

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2018). Boletín agroclimático mensual. *Dirección zonal 3 Cajamarca - La Libertad*, 5(1). Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03708SENA-29.pdf>
- SIMCom (2013). SIM900 Hardware Design V2.05. Recuperado de [https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900\\_Hardware%20Design\\_V2.05.pdf](https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf)
- Téllez, J. & Avila, P. (2014). *Diagnóstico para la fundamentación de la Maestría en Sistemas Embebidos*. (1a ed.). México. Recuperado de <https://www.infotec.mx/work/models/Infotec/Publicaciones/Diagnostico-para-fundamentacion-Maestria-Sistemas-Embebidos.pdf>
- Twenergy. (2017). *Energía Eólica Nociones Básicas*. Recuperado de <https://twenergy.com/guias-eficiencia-energetica/energia-eolica-nociones-basicas>
- Universidad Nacional Autónoma de México Global. (12 de agosto del 2018). *Por un uso más eficiente del agua en la agricultura*. Recuperado de <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=45549>
- Universidad Nacional de Ingeniería. (2006). *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. Lima. Recuperado de <http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>
- Zambrano, J., Altamirano, E., Olmedo, D. & Hernández, J. (junio, 2018). Sistema automatizado de nebulización y riego por goteo de agua para la propagación clonal controlada de especies forestales. *V Congreso Internacional de la Ciencia, Tecnología, Emprendimiento e Innovación*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/329440765>



## ANEXO 01: Matriz de consistencia

**Tabla 9**

Matriz de consistencia

<b>SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO CON ENERGÍA RENOVABLE EN EL CONTROL DE AGUA Y CRECIMIENTO DE MAÍZ EN CALLANCAS-OTUZCO.</b>						
<b>PROBLEMA</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>METODOLOGÍA</b>		
¿Cómo un sistema inteligente de riego con energía renovable influye en el control del agua y crecimiento del maíz, en la localidad de Callancas - Otuzco en el año 2019?	El sistema inteligente de riego con energía renovable influye positivamente en el control del agua y crecimiento del maíz, en la localidad de Callancas - Otuzco en el año 2019.	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.	sistema inteligente de riego con energía renovable.	<b>Diseño</b>		
				<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">RG1</td> <td style="padding-right: 10px;">X</td> <td>O1</td> </tr> <tr> <td>RG2</td> <td>-</td> <td>O2</td> </tr> </table>	RG1	X
RG1	X	O1				
RG2	-	O2				
				<p>Donde:</p> <p>RG1= 56 plantas de maíz</p> <p>RG2= 56 plantas de maíz</p> <p>X= Sistema inteligente de riego con energía renovable.</p> <p>-=Ausencia del sistema inteligente de riego con energía renovable.</p> <p>O1: Medición post-experimental del control de agua y el crecimiento del maíz.</p>		

O2: Medición post-experimental del control de agua y el crecimiento del maíz.

**Población**

La población está conformada por todas las plantas de maíz de una parcela, en la localidad de Callancas en la provincia de Otuzco.

OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	Muestra
Determinar la influencia de un sistema inteligente de riego con energía renovable en el volumen de consumo de agua por planta	Control de agua.	N1 = 56
Calcular la influencia de un sistema inteligente de riego con energía renovable en la tasa de crecimiento de la planta de maíz.	Crecimiento del maíz.	N2 = 56
		T = 112



**Tabla 11**

Operacionalización de variable dependiente 1

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Control de agua.</b>	Aprovechar mejor el recurso agua y asegurar mayor eficiencia de 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, por unidad de cualquier actividad. Una medida de uso eficiente del agua es una práctica que favorece el mantenimiento o el mejoramiento de la calidad del agua (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, s.f.).	El control del agua se mide la siguiente manera: se debe realizar las mediciones del consumo de agua durante el riego de las plantas.	Volumen de consumo de agua (litros)	Caudal de agua (Litros por segundo)  Tiempo de riego (segundos)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12**

Operacionalización de la variable dependiente 2

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Crecimiento del maíz.</b>	El crecimiento es simplemente un aumento de tamaño, y se incrementa mediante condiciones de crecimiento favorables (humedad, nutrientes y temperatura adecuados, etc.) y disminuye mediante condiciones de crecimiento estresantes (temperaturas anormales, deficiencias en nutrientes, humedad, etc.) (Agard, 2015).	El crecimiento del maíz se mide de la siguiente manera: se debe realizar las mediciones de las dimensiones de la planta, para lo cual se mide la altura y el diámetro del tallo. También se cuenta la cantidad de hojas de la planta.	Tasa de crecimiento de la planta	<p>Altura de la planta (centímetros)</p> <p>Tiempo (Días)</p>

Fuente: Elaboración propia

MATRIZ DE VALIDACIÓN

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO	ITEMS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES
					RELACIÓN ENTRE LA VARIABLE Y LA DIMENSIÓN		RELACIÓN ENTRE LA DIMENSIÓN Y EL INDICADOR		RELACIÓN ENTRE EL INDICADOR Y EL O LOS ÍTEMS		
					SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	
Control de agua	Volumen de consumo de agua	Caudal (lts/seg)	Guía de observación N° 01	Volumen de agua, tiempo de riego por surco	X		X		X		
		Tiempo (seg)	Guía de observación N° 02	Tiempo de riego total	X		X		X		
Crecimiento del maíz	Tasa de crecimiento de la planta de maíz	Altura (cm)	Guía de observación N° 03	Altura de cada planta.	X		X		X		
		Tiempo (días)	Guía de observación N° 04	Días de crecimiento	X		X		X		

Figura 29: Matriz de validación

Fuente: Elaboración propia

**MATRIZ DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO(S)**

**NOMBRE DEL O LOS INSTRUMENTOS:** Guías de Observación

**OBJETIVO:** Recoger información sobre el control del agua y el crecimiento del maíz del cultivo realizado con el sistema inteligente de riego con energía renovable

**APELLIDOS Y NOMBRES DEL EVALUADOR:**

DAVILA RODRIGUEZ VICTOR E.

**GRADO ACADÉMICO DEL EVALUADOR:**

MAESTRO DE SISTEMAS

**VALORACIÓN:**

Aprobado Desaprobado

19242453

DNI

FIRMA

**Figura 30:** Validación de instrumentos

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 04: Guía de observación para el indicador 01**

**Tabla 13**

Descripción de la guía de observación N° 01

Nombre	Guía de observación N° 01
Objetivo	Recolectar datos sobre el caudal que recibe cada planta.
Procedimiento	<p>Se seguirán los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se realizará las pruebas de caudal en la planta durante el riego.</li> <li>2. Mediante una Guía de observación N° 01, se recolectará los datos del agua y tiempos para la planta.</li> <li>3. Se aplicará la ecuación del caudal, para obtener el agua de cada planta en Litros por segundo.</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 14**

Caudal de agua

<b>Guía de observación N° 01</b>				
<b>Nombre de la persona a cargo de la prueba</b>		<b>Fecha</b>		<b>Día</b>
<b>Medición</b>	<b>Riego Inteligente</b>		<b>Riego tradicional</b>	
	<b>Cantidad de agua (litros)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Cantidad de agua (litros)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
<b>Planta 01</b>				
<b>Planta 02</b>				
<b>Planta 03</b>				
<b>Planta 04</b>				
<b>Planta 05</b>				
<b>Planta 06</b>				
<b>Planta 07</b>				
<b>Planta 08</b>				
<b>Planta 09</b>				
<b>Planta 10</b>				
<b>Planta 11</b>				
<b>Planta 12</b>				
<b>Planta 13</b>				
<b>Planta 14</b>				
<b>Planta 15</b>				
<b>Planta 16</b>				
<b>Planta 17</b>				
<b>Planta 18</b>				
<b>Planta 19</b>				
<b>Planta 20</b>				
<b>Planta 21</b>				
<b>Planta 22</b>				
<b>Planta 23</b>				
<b>Planta 24</b>				
<b>Planta 25</b>				
<b>Planta 26</b>				
<b>Planta 27</b>				

<b>Planta 28</b>				
<b>Planta 29</b>				
<b>Planta 30</b>				
<b>Planta 31</b>				
<b>Planta 32</b>				
<b>Planta 33</b>				
<b>Planta 34</b>				
<b>Planta 35</b>				
<b>Planta 36</b>				
<b>Planta 37</b>				
<b>Planta 38</b>				
<b>Planta 39</b>				
<b>Planta 40</b>				
<b>Planta 41</b>				
<b>Planta 42</b>				
<b>Planta 43</b>				
<b>Planta 44</b>				
<b>Planta 45</b>				
<b>Planta 46</b>				
<b>Planta 47</b>				
<b>Planta 48</b>				
<b>Planta 49</b>				
<b>Planta 50</b>				
<b>Planta 51</b>				
<b>Planta 52</b>				
<b>Planta 53</b>				
<b>Planta 54</b>				
<b>Planta 55</b>				
<b>Planta 56</b>				
<b>Promedio</b>				

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 05: Guía de observación para el indicador 02

**Tabla 15**

Descripción de la guía de observación N° 02

Nombre	Guía de observación N° 02
Objetivo	Recolectar datos sobre el tiempo de riego de la parcela.
Procedimiento	<p>Se seguirán los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se realizará la medición tiempo.</li> <li>2. Se tomará la medición del tiempo que tarda en regar.</li> <li>3. Mediante la guía de observación N° 02 se detallará el tiempo de riego para cada planta.</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16**

Tiempo de riego

<b>Guía de observación N° 02</b>		
<b>Nombre de la persona a cargo de la prueba</b>		<b>Fecha</b>
		<b>Día</b>
<b>Medición</b>	<b>Riego Inteligente</b>	<b>Riego tradicional</b>
	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
<b>Planta 01</b>		
<b>Planta 02</b>		
<b>Planta 03</b>		
<b>Planta 04</b>		
<b>Planta 05</b>		
<b>Planta 06</b>		
<b>Planta 07</b>		
<b>Planta 08</b>		
<b>Planta 09</b>		
<b>Planta 10</b>		
<b>Planta 11</b>		
<b>Planta 12</b>		
<b>Planta 13</b>		
<b>Planta 14</b>		
<b>Planta 15</b>		
<b>Planta 16</b>		
<b>Planta 17</b>		
<b>Planta 18</b>		
<b>Planta 19</b>		
<b>Planta 20</b>		
<b>Planta 21</b>		
<b>Planta 22</b>		
<b>Planta 23</b>		
<b>Planta 24</b>		
<b>Planta 25</b>		
<b>Planta 26</b>		
<b>Planta 27</b>		
<b>Planta 28</b>		
<b>Planta 29</b>		

<b>Planta 30</b>		
<b>Planta 31</b>		
<b>Planta 32</b>		
<b>Planta 33</b>		
<b>Planta 34</b>		
<b>Planta 35</b>		
<b>Planta 36</b>		
<b>Planta 37</b>		
<b>Planta 38</b>		
<b>Planta 39</b>		
<b>Planta 40</b>		
<b>Planta 41</b>		
<b>Planta 42</b>		
<b>Planta 43</b>		
<b>Planta 44</b>		
<b>Planta 45</b>		
<b>Planta 46</b>		
<b>Planta 47</b>		
<b>Planta 48</b>		
<b>Planta 49</b>		
<b>Planta 50</b>		
<b>Planta 51</b>		
<b>Planta 52</b>		
<b>Planta 53</b>		
<b>Planta 54</b>		
<b>Planta 55</b>		
<b>Planta 56</b>		
<b>Promedio</b>		

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 06: Guía de observación para el indicador 03

**Tabla 17**

Descripción de la guía de observación N° 03

Nombre	Guía de observación N° 03
Objetivo	Recolectar los datos necesarios sobre la medida del tallo de las plantas de maíz.
Procedimiento	Se seguirán los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Se tomará la muestra de la parcela de cultivo.</li><li>2. Se realizará la medida del tallo de las plantas de maíz.</li><li>3. Mediante la guía de observación N° 03 se detallará la medida de los tallos de las plantas.</li></ol>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18**

Altura de la planta

<b>Guía de observación N° 03</b>			
<b>Nombre de la persona a cargo de la prueba</b>		<b>Fecha</b>	<b>Día</b>
<b>Medición</b>	<b>Riego Inteligente</b>	<b>Riego tradicional</b>	
	<b>Altura de la planta (centímetros)</b>	<b>Altura de la planta (centímetros)</b>	
<b>Planta 01</b>			
<b>Planta 02</b>			
<b>Planta 03</b>			
<b>Planta 04</b>			
<b>Planta 05</b>			
<b>Planta 06</b>			
<b>Planta 07</b>			
<b>Planta 08</b>			
<b>Planta 09</b>			
<b>Planta 10</b>			
<b>Planta 11</b>			
<b>Planta 12</b>			
<b>Planta 13</b>			
<b>Planta 14</b>			
<b>Planta 15</b>			
<b>Planta 16</b>			
<b>Planta 17</b>			
<b>Planta 18</b>			
<b>Planta 19</b>			
<b>Planta 20</b>			
<b>Planta 21</b>			
<b>Planta 22</b>			
<b>Planta 23</b>			
<b>Planta 24</b>			
<b>Planta 25</b>			
<b>Planta 26</b>			
<b>Planta 27</b>			
<b>Planta 28</b>			
<b>Planta 29</b>			

<b>Planta 30</b>		
<b>Planta 31</b>		
<b>Planta 32</b>		
<b>Planta 33</b>		
<b>Planta 34</b>		
<b>Planta 35</b>		
<b>Planta 36</b>		
<b>Planta 37</b>		
<b>Planta 38</b>		
<b>Planta 39</b>		
<b>Planta 40</b>		
<b>Planta 41</b>		
<b>Planta 42</b>		
<b>Planta 43</b>		
<b>Planta 44</b>		
<b>Planta 45</b>		
<b>Planta 46</b>		
<b>Planta 47</b>		
<b>Planta 48</b>		
<b>Planta 49</b>		
<b>Planta 50</b>		
<b>Planta 51</b>		
<b>Planta 52</b>		
<b>Planta 53</b>		
<b>Planta 54</b>		
<b>Planta 55</b>		
<b>Planta 56</b>		
<b>Promedio</b>		

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO 07: Guía de observación para el indicador 04

**Tabla 19**

Descripción de la guía de observación N° 04

Nombre	Guía de observación N° 04
Objetivo	<p>Recolectar los datos necesarios sobre el tiempo de crecimiento de las platas de maíz.</p>
Procedimiento	<p>Se seguirán los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se tomará la muestra de la parcela de cultivo.</li> <li>2. Se medirá el tiempo de crecimiento en días de las plantas.</li> <li>3. Mediante la guía de observación N° 04 se detallará el tiempo de crecimiento de cada planta.</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20**

Tiempo de crecimiento de la planta

<b>Guía de observación N° 04</b>		
<b>Nombre de la persona a cargo de la prueba</b>		<b>Fecha</b>
		<b>Día</b>
<b>Medición</b>	<b>Riego Inteligente</b>	<b>Riego tradicional</b>
	<b>Tiempo (Días)</b>	<b>Tiempo (Días)</b>
<b>Planta 01</b>		
<b>Planta 02</b>		
<b>Planta 03</b>		
<b>Planta 04</b>		
<b>Planta 05</b>		
<b>Planta 06</b>		
<b>Planta 07</b>		
<b>Planta 08</b>		
<b>Planta 09</b>		
<b>Planta 10</b>		
<b>Planta 11</b>		
<b>Planta 12</b>		
<b>Planta 13</b>		
<b>Planta 14</b>		
<b>Planta 15</b>		
<b>Planta 16</b>		
<b>Planta 17</b>		
<b>Planta 18</b>		
<b>Planta 19</b>		
<b>Planta 20</b>		
<b>Planta 21</b>		
<b>Planta 22</b>		
<b>Planta 23</b>		
<b>Planta 24</b>		
<b>Planta 25</b>		
<b>Planta 26</b>		
<b>Planta 27</b>		
<b>Planta 28</b>		
<b>Planta 29</b>		

<b>Planta 30</b>		
<b>Planta 31</b>		
<b>Planta 32</b>		
<b>Planta 33</b>		
<b>Planta 34</b>		
<b>Planta 35</b>		
<b>Planta 36</b>		
<b>Planta 37</b>		
<b>Planta 38</b>		
<b>Planta 39</b>		
<b>Planta 40</b>		
<b>Planta 41</b>		
<b>Planta 42</b>		
<b>Planta 43</b>		
<b>Planta 44</b>		
<b>Planta 45</b>		
<b>Planta 46</b>		
<b>Planta 47</b>		
<b>Planta 48</b>		
<b>Planta 49</b>		
<b>Planta 50</b>		
<b>Planta 51</b>		
<b>Planta 52</b>		
<b>Planta 53</b>		
<b>Planta 54</b>		
<b>Planta 55</b>		
<b>Planta 56</b>		
<b>Promedio</b>		

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 08: Metodología de Sistemas Embebidos

### 1. Análisis y diseño

#### 1.1. Proceso de especificación de requisitos

##### 1.1.1. Requisitos funcionales

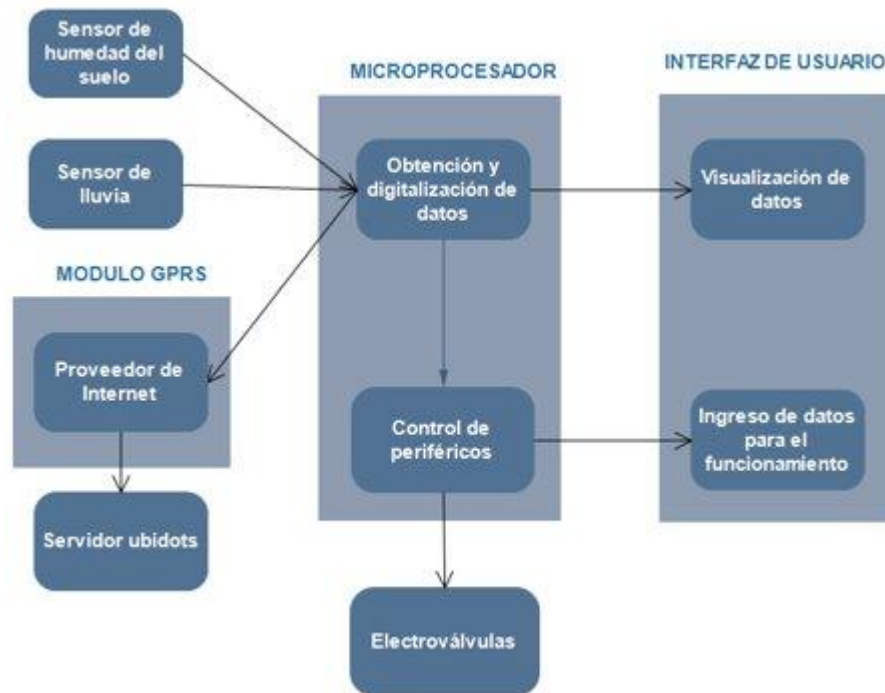
- Realizar el riego de acuerdo al modo que seleccione el usuario (modo automático y modo manual).
- Mostrar las lecturas obtenidas por cada uno de los sensores al usuario (sensor de humedad del suelo y sensor de lluvia).
- Tener un modo manual para que el usuario opere a cada electroválvula del sistema.
- El sistema debe apagarse cuando el sensor de lluvia detecte una mayor cantidad de agua.
- El sistema debe detener el riego cuando el sensor de humedad detecte que ya es suficiente el riego para la planta.
- El sistema debe estar alimentado por energía eólica y solar.
- Mostar los datos en el servidor de Ubidots.

##### 1.1.2. Requisitos no funcionales

- El sistema debe ser rápido capturando los datos de los sensores.
- El sistema debe tener una letra visible y clara para el usuario
- El hardware debe ser rápido con la ejecución del programa.
- La pantalla táctil debe responder rápido a la presión del dedo en la pantalla del usuario.

#### 1.2. Proceso de arquitectura

##### 1.2.1. Arquitectura del sistema



**Figura 31:** Arquitectura del Sistema Embebido

Fuente: Elaboración propia

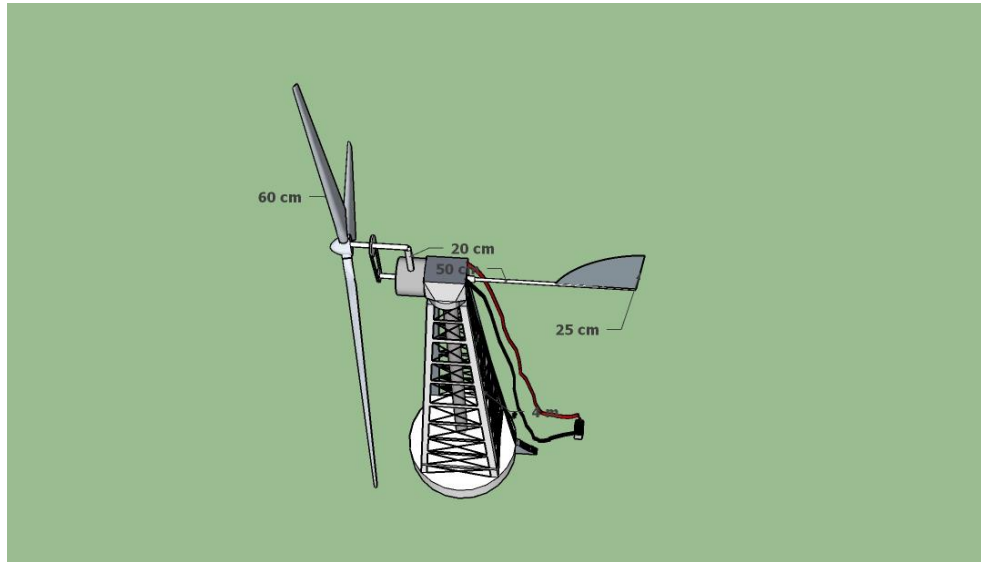
### 1.3. Proceso de diseño

#### 1.3.1. Diseño de detalle

**Diseño del generador eólico:** En esta parte se muestra como está construido el generador eólico y los componentes por los cuales está formado. El generador eólico cuenta con una hélice de 3 aspas construidas de tubo PVC de 4 pulgadas, en el centro de la hélice se encuentra un eje el cual hace girar una cadena de bicicleta, con la cual hace girar otro eje que se conecta al centro del motor. El motor está conformado por una pieza de metal en forma circular y todo el borde interior contiene alambre de cobre, más al centro está otra pieza de metal en forma de rueda que contiene imanes en sus extremos y es la que gira con el eje que es conectado por la cadena.

Entre el imán y el cobre se genera un campo magnético el cual es convertido en energía. Esta energía es conducida hacia un controlador de carga, el cual funciona como estabilizador que no permite que la energía sobrepase los 12

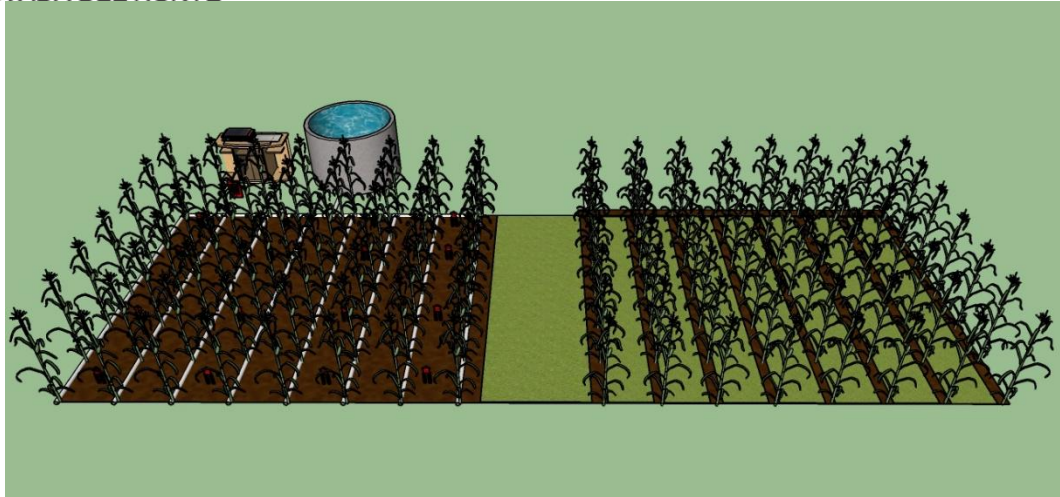
voltios, desde este controlador se conecta a una batería de 12 voltios que almacena la energía para posteriormente alimentar a los circuitos. En la parte posterior, el generador eólico tiene una aleta construida de platino mediante la cual hace rotar la hélice en dirección del viento.



**Figura 32:** Prototipo del generador eólico  
Fuente: Elaboración propia

**Diseño del sistema de riego:** Este diseño muestra como está realizada la instalación del sistema inteligente de riego con energía renovable. El sistema cuenta con 8 tubos PVC ½ pulgada mediante los cuales se hace llegar el agua a cada surco de cultivo, cada surco tiene pequeños goteros que conducen el agua hacia la raíz de la planta. Por cada surco el sistema cuenta con un sensor que sirve para capturar la humedad del suelo y poder encender o apagar el riego automático.

En el tubo principal, que distribuye el agua hacia los demás tubos, se encuentra una electroválvula que abre y cierra el flujo de agua para cada uno de ellos. También, cuenta con un módulo de control desde el cual se puede manipular o configurar el riego automático. El agua es extraída desde un pozo el cual lo almacena por días.



**Figura 33:** Prototipo del Sistema de riego  
Fuente: Elaboración propia

## 2. Desarrollo del hardware

### 2.1. Proceso estándares del hardware

#### 2.1.1. Electronic Control Units (ECU)

- Arduino mega At2560: Es el módulo que contiene toda la programación y lógica del sistema de riego. A este controlador están conectados todos los demás componentes electrónicos del sistema. Recibe los datos de los sensores de humedad y de lluvia, de acuerdo a estos datos controla a las electroválvulas para realizar el riego o para detener el riego.

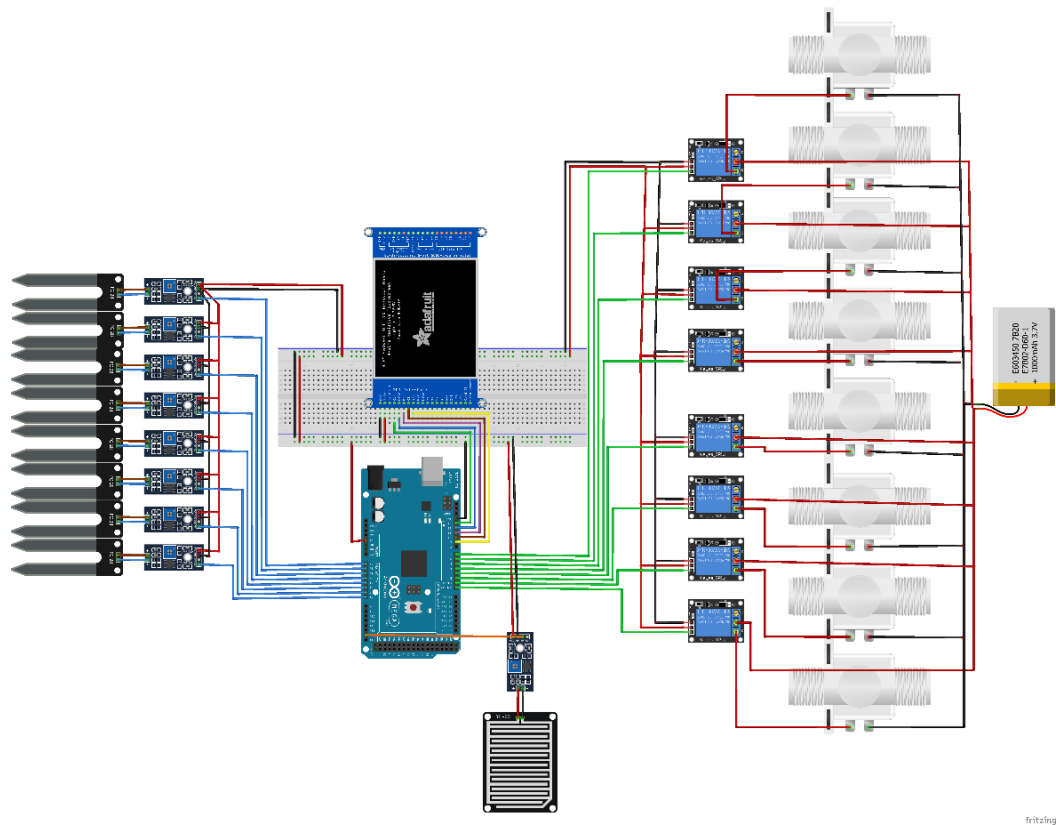
#### 2.1.2. Sensores

- Sensor de humedad del suelo: El sistema está compuesto por 8 sensores de humedad que se encargan de monitorear el estado del riego. Cada sensor se instala cerca de una planta de cultivo desde donde captura el grado de humedad del suelo y envía los datos al Arduino mega At2560.
- Sensor de lluvia: Este sensor se encarga de verificar si está lloviendo y no, de ser el caso que haya lluvia el sensor envía una señal al Arduino mega para que detenga el riego.

### 2.1.3. Actuadores

- **Electroválvula 12V DC:** El sistema tiene 8 electroválvulas mediante las cuales se encargan de controlar el paso de agua por los tubos PVC del sistema de riego. Las electroválvulas son controladas por el Arduino para abrir o cerrar el paso del agua.
- **Motor AC:** Es el encargado de generar la energía eólica gracias a las aspas que son movidas por la fuerza del viento. Este motor está compuesto por alambre de cobre e imanes mediante los cuales genera un campo magnético y produce energía para alimentar los circuitos del sistema de riego.
- **Pantalla TFT LCD 3.5" TOUCH:** Es la interfaz gráfica de todo el sistema, está conectada directamente al Arduino mega. Permite ver los datos que son recolectados por los sensores y el estado de las electroválvulas, si están abiertas o cerradas. Además, permite manipular de manera manual todo el sistema, es el medio que permite interactuar con el sistema para activar o desactivar el modo automático.
- **Relés 12V DC:** Son los que ayudan a activar las electroválvulas, son como un switch que abre o cierra el paso de la energía eléctrica hacia las electroválvulas para que puedan encenderse o apagarse. Estos relés también son controlados por el Arduino. El sistema cuenta con 8 relés, uno para cada electroválvula.



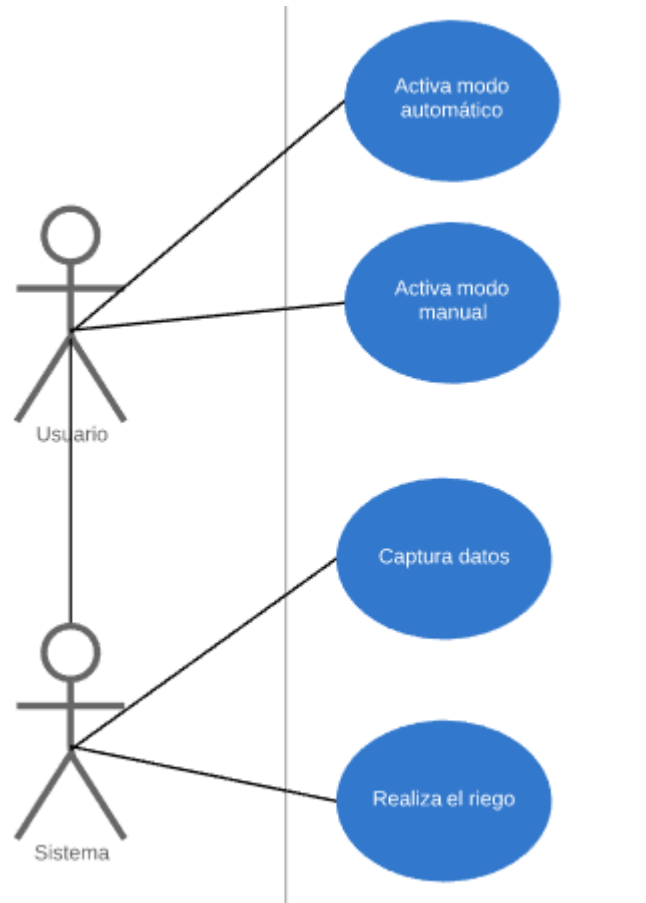


**Figura 34:** Diseño del hardware del sistema  
Fuente: Elaboración propia

### 3. Desarrollo del software

#### 3.1. Proceso de software aplicación

##### 3.1.1. Modelado



**Figura 35:** Caso de uso del sistema

Fuente: Elaboración propia

##### 3.1.2. Generación de código

Los valores que son capturados por los sensores de humedad y el sensor de lluvia son almacenados en una variable. Estos sensores capturan datos analógicos que se miden en valores desde 0 a 1023. Luego estos valores son mapeados en valores de 0 a 100 para tener una escala de porcentaje real de la humedad en las plantas o la lluvia en el área de trabajo.

```
valorSensorHumedad01 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad02 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad03 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad04 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad05 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad06 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad07 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
valorSensorHumedad08 = map(analogRead(sensorHumedad01), 0, 1023, 100, 0);  
  
valorSensorLluvia = map(analogRead(sensorLluvia), 0, 1023, 100, 0);
```

**Figura 36:** Almacenamiento de datos en variables

Fuente: Elaboración propia

El sistema verifica si el valor del sensor de lluvia tiene un valor mayor o igual al 20%, lo cual significa que la lluvia está siendo fuerte y el sistema debe detener el riego para evitar el desperdicio de agua, ya que la lluvia estaría haciendo el riego.

```
if(valorSensorLluvia>=20) {  
  digitalWrite(electrovalvula01 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula02 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula03 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula04 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula05 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula06 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula07 , LOW);  
  digitalWrite(electrovalvula08 , LOW);  
  
  digitalWrite(bombaDeAgua01 , LOW);  
}
```

**Figura 37:** Lógica del sensor de lluvia

Fuente: Elaboración propia

El sistema también verifica los valores de cada sensor de humedad que se encuentra en cada surco del área de cultivo. Cuando el valor de un sensor de humedad es menor al 24%, el sistema enciende automáticamente la electroválvula que le corresponde a ese surco e inicia el riego automático, la electroválvula se mantienen encendida y el sistema regando hasta que el sensor

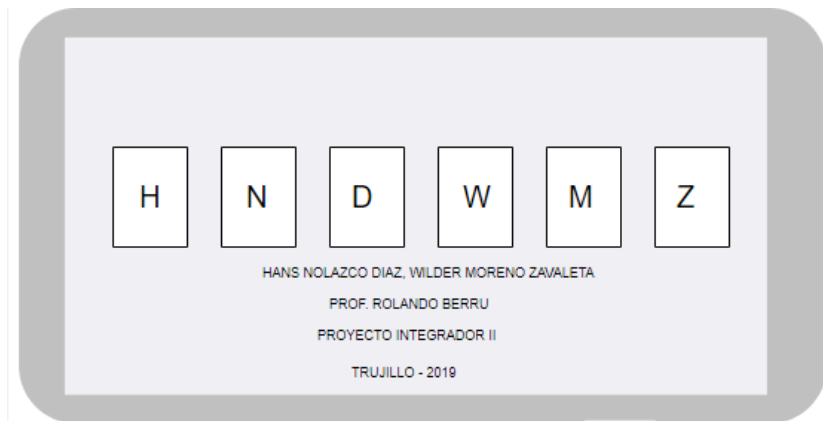
arroja un valor igual o mayor al 60% de humedad, en este punto el sistema  
apaga la electroválvula y deja de realizar el riego automático para ese surco.

```
if(valorSensorHumedad01<24){
    digitalWrite(electrovalvula01 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad01>=60){
    digitalWrite(electrovalvula01 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad02<24){
    digitalWrite(electrovalvula02 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad02>=60){
    digitalWrite(electrovalvula02 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad03<24){
    digitalWrite(electrovalvula03 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad03>=60){
    digitalWrite(electrovalvula03 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad04<24){
    digitalWrite(electrovalvula04 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad04>=60){
    digitalWrite(electrovalvula04 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad05<24){
    digitalWrite(electrovalvula05 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad05>=60){
    digitalWrite(electrovalvula05 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad06>24){
    digitalWrite(electrovalvula06 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad06>=60){
    digitalWrite(electrovalvula06 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad07<24){
    digitalWrite(electrovalvula07 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad07>=60){
    digitalWrite(electrovalvula07 , LOW);
}
if(valorSensorHumedad08<24){
    digitalWrite(electrovalvula08 , HIGH);
}
else if(valorSensorHumedad08>=60){
    digitalWrite(electrovalvula08 , LOW);
}
```

**Figura 38:** Lógica del sensor de humedad  
Fuente: Elaboración propia

En esta sección se muestra el diseño de toda la interfaz gráfica del módulo de control, es decir cada una de las ventanas que se muestran en la pantalla TFT LCD.

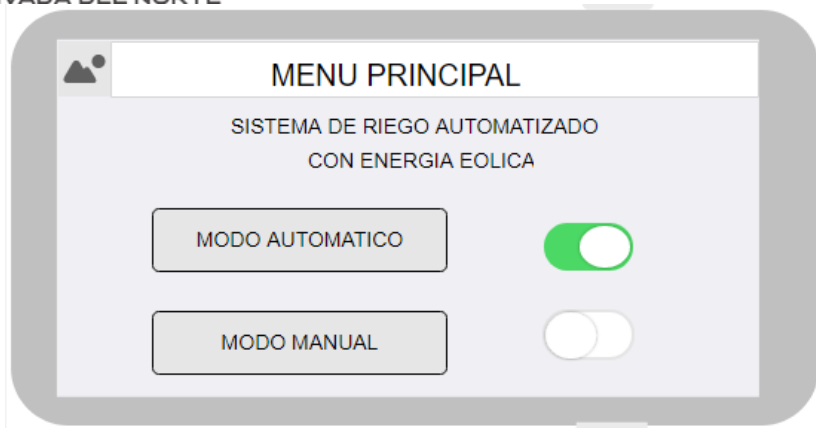
Esta primera imagen muestra la pantalla de inicio del sistema, antes de ingresar al menú principal. En el texto grande se muestra las iniciales de los nombres y apellidos de los autores. En el texto pequeño se muestran los nombres completos de los autores, profesor, curso, lugar y año que se realiza el proyecto.



**Figura 39:** Prototipo interfaz inicio

Fuente: Elaboración propia

La pantalla del menú principal muestra dos botones para ingresar a los menús de modo automático y modo manual, para poder hacer uso de las opciones que existan dentro de ellas. Además, muestras dos botones en forma de switch para encender y apagar el modo manual y modo automático.



**Figura 40:** Prototipo interfaz menú principal

Fuente: Elaboración propia

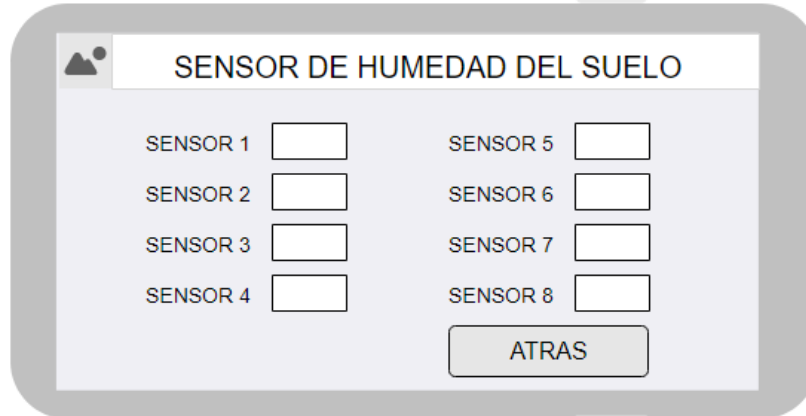
El menú modo automático muestra 3 botones en donde el primero es para ingresar al menú de los sensores de humedad y poder observar sus valores. El segundo botón es para ingresar al menú del sensor de lluvia y de manera similar al primero también para ver el valor que presenta dicho sensor. El tercer botón es para regresar al menú principal.



**Figura 41:** Prototipo interfaz modo automático

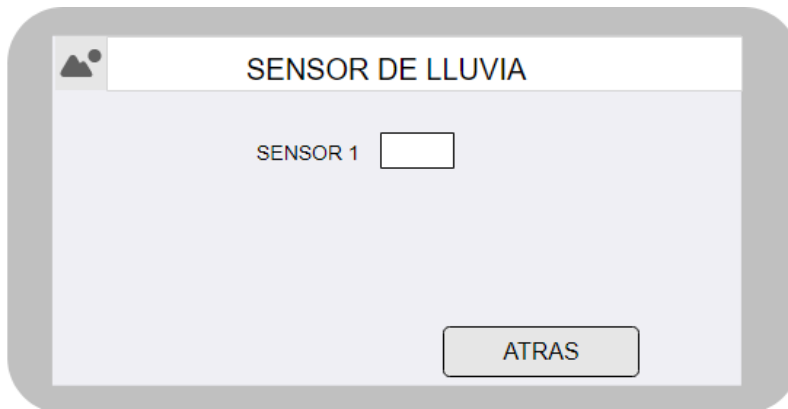
Fuente: Elaboración propia

En la pantalla del sensor de humedad del suelo se pueden los valores que están recopilando los 8 sensores de humedad que se encuentran el sistema. Estos valores se van actualizando conforme el riego vaya avanzando. Además, se muestra un botón que sirve para regresar al menú anterior.



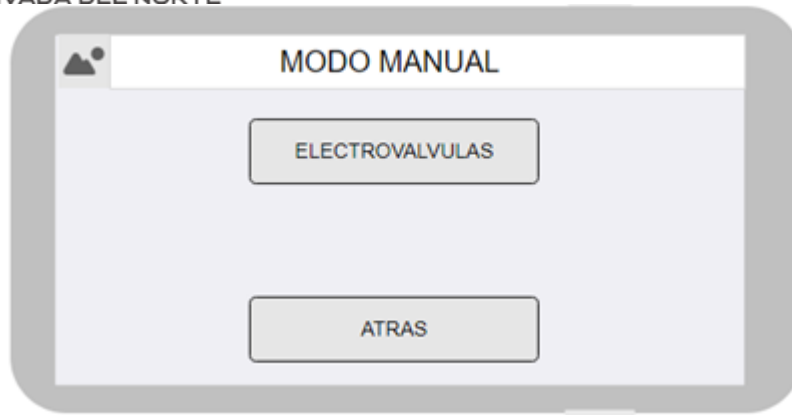
**Figura 42:** Prototipo interfaz datos sensor humedad  
Fuente: Elaboración propia

En la pantalla del sensor de lluvia también se muestra el valor que el sensor captura y un botón de regresar al menú anterior.



**Figura 43:** Prototipo interfaz datos sensor lluvia  
Fuente: Elaboración propia

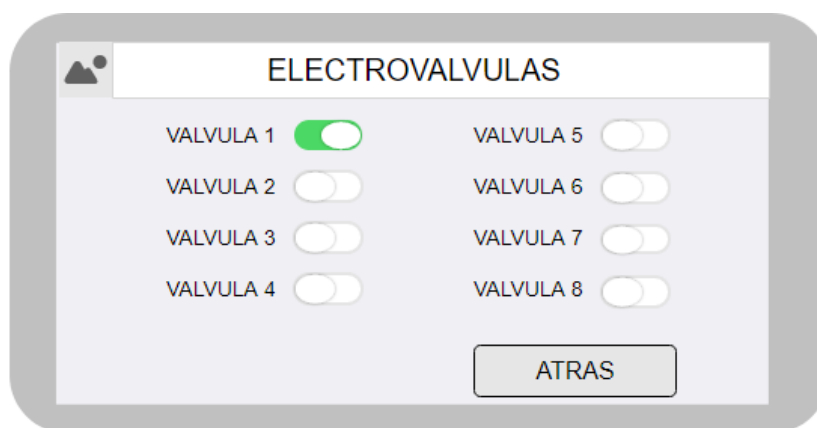
El menú modo manual muestra dos botones, el primero es para ingresar al menú de las electroválvulas en donde uno puede manipular su estado. El segundo botón es para regresar al menú principal.



**Figura 44:** Prototipo interfaz modo manual

Fuente: Elaboración propia

En la pantalla de las electroválvulas, se muestra las 8 que existen en todo el sistema y cada uno tiene un botón en forma de switch para encender y apagar a la válvula que se corresponda. Es necesario recalcar que para que se pueda manipular desde estos botones a las electroválvulas, debe estar encendido el modo manual y el modo automático apagado. También se muestra un botón para regresar al menú anterior.



**Figura 45:** Prototipo interfaz electroválvulas

Fuente: Elaboración propia

## 4. Integración y pruebas

### 4.1. Proceso del prototipo del sistema embebido

**4.1.1. Generador eólico y solar:** Se muestra el generador eólico construido completamente con todas sus partes en base al diseño realizado en la primera



fase. El generador eólico está funcional pero falta instalarlo en el lugar que debe estar ubicado para que le llegue el viento con mayor fuerza. Además, se utilizó la energía solar para dar un mayor flujo de energía a los componentes.



**Figura 46:** Implementación del generador eólico

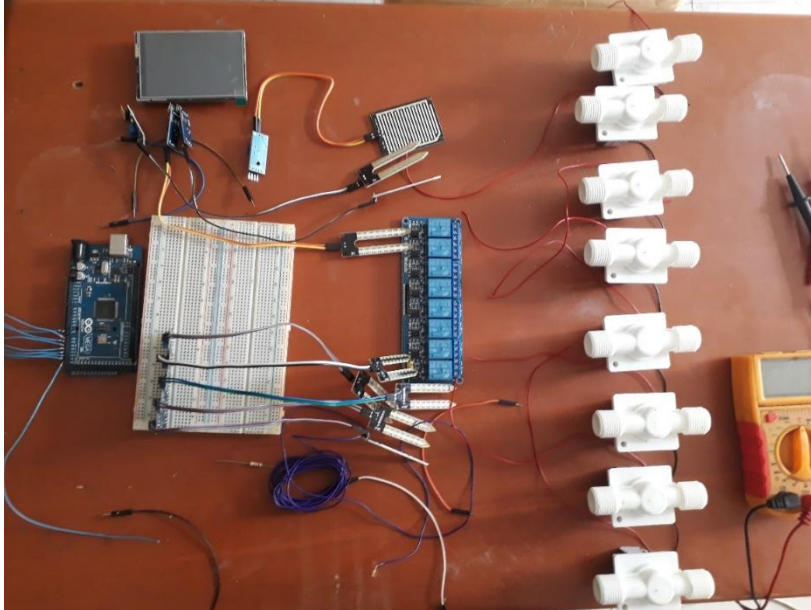
Fuente: Elaboración propia



**Figura 47:** Implementación del generador de energía solar

Fuente: Elaboración propia

**4.1.2. Módulo de control y electroválvulas:** Se puede apreciar cómo van conectados físicamente cada una de las partes del módulo de control juntamente con las electroválvulas. Cada componente de hardware está conectado al Arduino para que pueda realizar su proceso de manera automatizada. Se aprecia las conexiones, pero no está instalado en el área de cultivo, eso se verá en una fase posterior.



**Figura 48:** Implementación de módulo control  
Fuente: Elaboración propia

**4.1.3. Software:** Se muestra la programación de las interfaces del módulo de control en base al prototipado mostrado en una fase anterior. Esto es como queda el sistema listo para ser puesto en funcionamiento y ser manipulado por el usuario. Se muestran las interfaces principales que permiten la lectura y manipulación de los componentes.



**Figura 49:** Interfaz menú principal  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 50:** Interfaz datos del sensor humedad  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 51:** Interfaz electroválvulas  
Fuente: Elaboración propia

## 5. Manufactura en serie

### 5.1. Proceso de producción

**5.1.1. Instalación:** Se muestra la menara como se instalaron todos los componentes del sistema de riego, cómo se fueron uniendo cada una de las partes y el lugar donde se ubicaron para realizar el riego de las plantas de maíz. Se puede apreciar el generador eólico ensamblado completamente con cada una de sus partes. Además, se ensambló el generador de energía solar. También se

muestran los componentes electrónicos conectados en su respectivo lugar para ser controlados por el Arduino. Además, se muestra la instalación de las tuberías juntamente con las electroválvulas que controlarán el paso de agua.



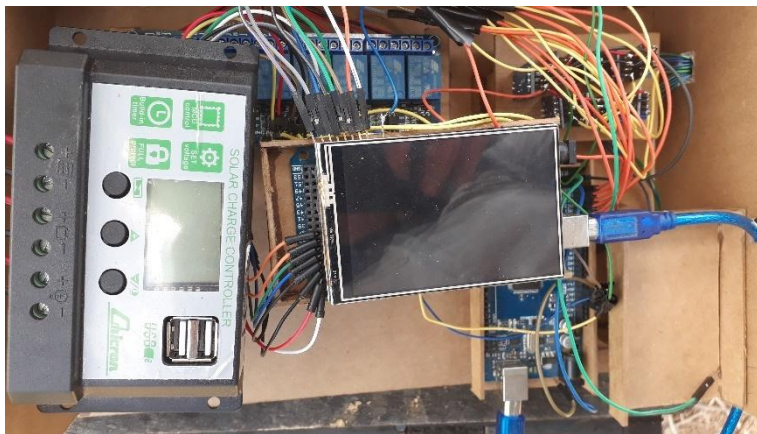
**Figura 52:** Motor del generador eólico  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 53:** Instalación del generador eólico  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 54:** Instalación del generador de energía solar  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 55:** Instalación de relés  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 56:** Instalación de sensores  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 57:** Instalación de pantalla TFT LCD  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 58:** Instalación de electroválvulas  
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2. Validación de la implementación

En esta parte se muestran todos los componentes del sistema inteligente de riego con energía renovable funcionando y realizando el riego de las plantas de maíz. Se puede apreciar el generador eólico ubicado a 5 metros de altura para captar la fuerza del viento y el generador de energía solar, con la cual se alimentarán los componentes electrónicos. Luego se muestra el módulo de control funcionando y capturando los valores de humedad de cada uno de los sensores ubicados en el área de cultivo. Además, estos valores de los sensores son subidos al servidor de Ubidots. Finalmente, se aprecia el sistema de las tuberías

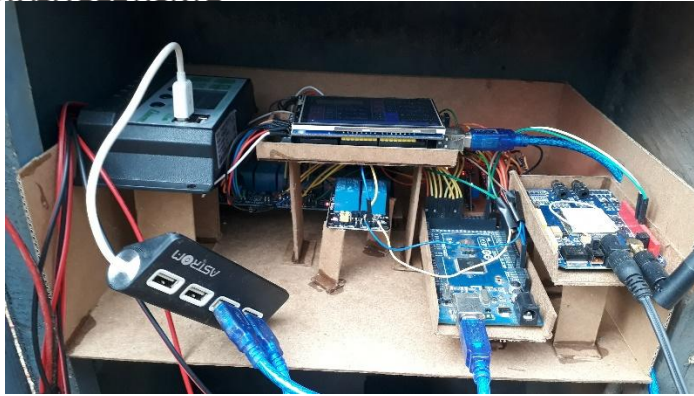
con las electroválvulas ubicadas al inicio de los tubos que conducen el agua por cada surco, en los tubos también se encuentran los goteros de hacen llegar el agua a cada planta y muy cerca de estos están ubicados los sensores de humedad.



**Figura 59:** Generador eólico en funcionamiento  
Fuente: Elaboración propia



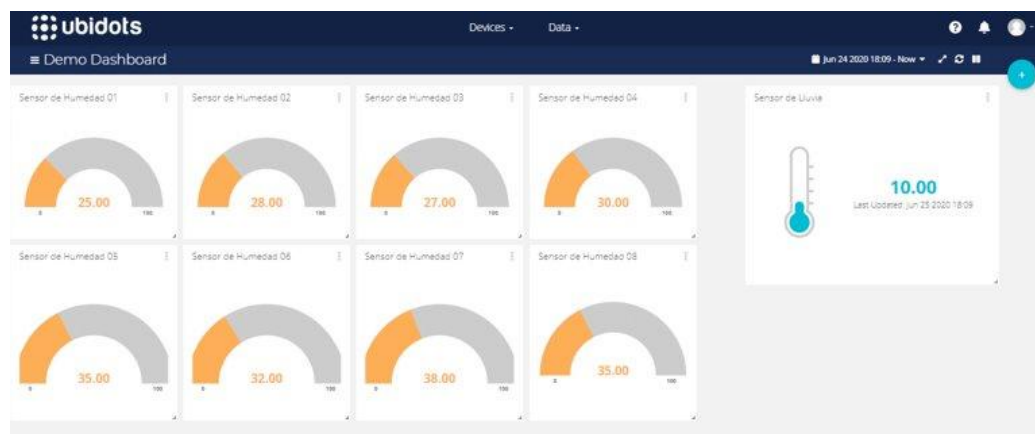
**Figura 60:** Generador de energía solar en funcionamiento.  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 61:** Módulo de control en funcionamiento  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 62:** Datos de los sensores en el módulo de control  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 63:** Servidor de Ubidots  
Fuente: Elaboración propia





**Figura 64:** Sistema de tuberías con electroválvulas en funcionamiento  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 65:** Sensor de humedad y gotero en funcionamiento  
Fuente: Elaboración propia