

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE TITULACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA
DE PRECISIÓN, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DEL
CANTÓN CHAMBO.**

Autor:

Wilson Alejandro Lara Aguayo

Tutor:

Ciro Diego Radicelli García, PhD

Riobamba – Ecuador

**Año
2021**

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DEL CANTÓN CHAMBO”**, presentado por: **Wilson Alejandro Lara Aguayo**, dirigido por: **Ciro Diego Radicelli García, PhD**.

Una vez escuchado la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. Para constancia de lo expuesto firman.

Para constancia de lo expuesto firman.

PhD. Luis Tello

Presidente del tribunal



.....

Firma

PhD. Carlos Peñafiel

Miembro del tribunal

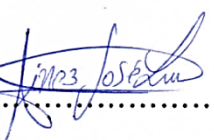


.....

Firma

MsC. José Jinez

Miembro del tribunal



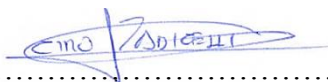
.....

Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DEL CANTÓN CHAMBO**”, realizado por el Sr. **Wilson Alejandro Lara Aguayo**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, agosto de 2021



.....

Ciro Diego Radicelli García, PhD.

C.I. 1713535225

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de investigación titulado, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DEL CANTÓN CHAMBO**” corresponde exclusivamente a Wilson Alejandro Lara Aguayo, Ciro Diego Radicelli García y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

A handwritten signature in blue ink, reading "Wilson Lara", enclosed within a blue oval-shaped border.

Wilson Alejandro Lara Aguayo
060417898-8

DEDICATORIA

El que no tiene a Dios, aunque lo tenga todo no tiene nada. Por ello, dedico mi trabajo a Dios y a mi familia, que de una u otra forma buscaron la manera de bríndame su ayuda en todo este camino, lleno de alegrías, retos, en ocasiones dificultades y tristezas, pero siempre con las bendiciones y el apoyo que nunca faltaron pude lograr esta meta en mi vida.

Wilson Lara A.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las bendiciones del día a día. Por la paciencia, perseverancia y dedicación que puso en mi en todo este trayecto de mi vida universitaria.

El amor, cariño, dedicación y la paciencia que han tenido conmigo, por todo esto y mucho más les agradezco a mis padres Wilson y Norma, por ser los promotores de mis sueños y siempre impulsarme a que los pueda cumplir.

A mi hermana Stephanie y mis sobrinas Valentina y Sofía por darme su apoyo en todo momento, las alegrías y las sonrisas de ustedes son un motor fuerte que me impulsa a seguir adelante.

Agradezco a mis abuelitas Clemencia e Inés, por tenerme siempre presente en sus oraciones, por los consejos, cuidados y atenciones que he recibido de ustedes.

Doy gracias a mi tutor Ciro Radicelli, por el apoyo en este camino, por aportar su conocimiento en este trabajo y por defender en todo momento las cosas justas.

No ha sido un camino fácil, ni sencillo, pero sigo con las ganas de superarme y seguir adelante, este peldaño es un impulso a nuevas metas que tengo en mente y sé que el apoyo en mis seres querido nunca me faltara. Gracias.

Wilson Lara A.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Estado del arte	6
2.2. Sistema de agricultura de precisión	7
2.3. Sistema de actuación	7
2.3.1. Electroválvulas	8
2.4. Red inalámbrica de sensores	8
2.5. Análisis de los dispositivos Electrónicos	8
2.5.1. Microcontrolador XBee	8
2.5.2. XBee Shield	9
2.5.3. Xbee Explorer adaptador mini USB	9
2.5.4. Microcontrolador	9
2.5.5. Sensor de humedad de suelo higrómetro YL 69	10
2.5.6. SIM800V2.0 GSM/GPRS	10
2.5.7. LCD 20*4 + MÓDULO I2C	11
2.5.8. Ds3231	11
2.5.9. Batería li – ion de 20000mah 5v	12

2.5.10. Panel solar 9v 2w.....	12
2.5.11. Módulo cargador de batería de litio TP4056	12
2.5.12. PFM control DC-DC 0.9V-5V para módulo de fuente USB 5V	13
2.5.13. Controlador de carga solar	13
2.5.14. Inversor de energía	13
2.5.15. Arduino IDE.....	13
2.5.16. XCTU	14
CAPÍTULO III.....	15
3. MARCO METODOLÓGICO	15
3.1. Métodos lógicos	15
3.2. Métodos Empíricos	15
3.3. Método experimental	15
3.4. Tipo de investigación.....	17
3.5. Técnicas	17
3.6. Definición de hipótesis	18
3.7. Operacionalización de Variables	18
3.8. Comprobación de Hipótesis.....	19
3.8.1. Decisión	19
3.9. Población de Estudio y Muestra	19
3.9.1. Población:	19
3.9.2. Muestra:	20
CAPÍTULO IV	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Resultados	21
4.1.1. Calibración de sensores.....	21

4.1.2. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita en la cebolla colorada burguesa	27
4.1.3. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita en la Arveja Quantum	28
4.1.4. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita para la lechuga Iceberg o repollada	29
4.1.5. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita para la papa super chola	30
4.1.6. Cálculo de litros por segundo que pasan por el canal.....	31
4.2. Análisis	33
CAPÍTULO V.....	35
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5.1. CONCLUSIONES.....	35
5.2. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de agua por cultivo a lo largo del ciclo vegetativo[17]–[20].	3
Tabla 2. Comparativa de módulos	8
Tabla 3. Especificaciones técnicas Arduino UNO.	10
Tabla 4. Variables Dependientes e Independientes[46], [47].	18
Tabla 5. Tabla cálculo Chi Cuadro	19
Tabla 6. Capacidad de Infiltración del suelo.	21
Tabla 7. Dureza del suelo.	22
Tabla 8. Análisis en el laboratorio INIAP.	22
Tabla 9. Toma de muestras.	26
Tabla 10. Caracterización del suelo para la cebolla colorada.	27
Tabla 11. Caracterización del suelo arveja quantum.	28
Tabla 12. Caracterización del suelo lechuga.	29
Tabla 13. Caracterización de suelo papa super chola.	30
Tabla 14. Lectura de tiempo en segundos.	32
Tabla 15. Longitud de prueba.	32
Tabla 16. Factibilidad de proyecto.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la agricultura de precisión.....	7
Figura 2. (a) Microcontrolador, (b) Jennie JN5121.....	8
Figura 3. XBee Shield.....	9
Figura 4. XBee Explorer adaptador mini USB.....	9
Figura 5. Placa Arduino UNO.....	10
Figura 6. (a) Sensor higrómetro YL 69, (b) Sensor funduino.....	10
Figura 7. (a) SIM800V2.0 GSM, (b) GPRS, SIM800L.....	11
Figura 8. LCD 20*4+ MÓDULO I2C.....	11
Figura 9. (a) Ds3231 y (b) ESP 32.....	12
Figura 10. Batería li – ion de 20000mah 5v.....	12
Figura 11. Panel solar 9v 2w.....	12
Figura 12. Módulo cargador de batería de litio TP4056.....	12
Figura 13. PFM control DC-DC 0.9V-5V para módulo de fuente USB 5V.....	13
Figura 14. Solar Charge controller 20 A.....	13
Figura 15. Inversor de energía 500w DC12v a AC110v.....	13
Figura 16. Simulación en XCTU.....	15
Figura 17. Esquema de conexión de circuito de control central de riego en Proteus.....	16
Figura 18. (a) Comunicación inalámbrica 2G, (b) Diseño de conexión general, (c) Proceso para diseño de fuente de energía solar y (d) Sistema general.....	16
Figura 19. Acceso y uso del agua de riego del Cantón Chambo.....	20
Figura 20. Porcentaje de humedad.....	23
Figura 21. Ancho de Surco y Lomo.....	23
Figura 22. Medidas de surco.....	24
Figura 23. Medidas de surco arveja.....	27
Figura 24. Lomo/ Surco Cebolla.....	28
Figura 25. Medidas de surco arveja.....	28
Figura 26. Lomo/ Surco arveja.....	28
Figura 27. Medidas de surco lechuga.....	29
Figura 28. Lomo/ Surco lechuga.....	29
Figura 29. Medidas de surco papa.....	30

Figura 30. Lomo/ Surco papa.....	30
Figura 31. Cálculo de flotador.....	31
Figura 32. Medidas de caudal.....	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de Humedad laboratorio con los datos del sensor.....	26
Gráfico 2. Contenido de agua para la cebolla.....	28
Gráfico 3. Contenido agua arveja.....	29
Gráfico 4. Contenido agua lechuga.....	30
Gráfico 5. Contenido agua papa.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Salida de Módulos.....	42
Anexo 2. Plano levantamiento planimétrico Molobog.....	43
Anexo 3. Calibración de sensores.....	44
Anexo 4. Medición de la capacidad de infiltración.....	45
Anexo 5. Medición de la compactación de suelo.....	46
Anexo 6. Medida porcentaje de humedad.....	47
Anexo 7. Regado de agua y cultivo.....	48
Anexo 8. Instalación de sensores.....	49
Anexo 9. Valores de apertura y cierre de válvulas.....	50
Anexo 10. Sistema de riego.....	51
Anexo 11. Pruebas de funcionamiento.....	52
Anexo 12. Programación.....	55
Anexo 13. Entrevistas.....	56

RESUMEN

El presente estudio tiene como tema: “Diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, para la optimización del agua de riego del cantón Chambo”. Mediante este tema se ha identificado un problema que requería atención, debido a que se necesita un control eficiente de la humedad en los cultivos, abasteciendo el agua requerida para cada uno y así evitando el desperdicio del líquido, siendo este como respuesta un menor impacto al medio ambiente. Para dar solución se planteó trabajar con una red inalámbrica de sensores que midan la humedad en diferentes puntos del terreno, con estos se pudo determinar la cantidad de agua requerida y mediante la utilización de electroválvulas poder controlar el ingreso del agua a los cultivos, así mismo, el cese del suministro considerando las dimensiones del terreno y las distancias de cada cultivo. Se utilizó método sintético y analítico, el método de observación científica. Además, se utilizó el método experimental ya que se recolectó, procesó y analizó toda la información que proveyó el estudio. El sistema está compuesto por: sensores, electroválvulas, un monitor SIM800L, microcontrolador Arduino 1, Xbee coordinador, SIM800L, Arduino NANO, tablero de control, pantalla LCD, DS3232, Xbee router. También se incorporó: un panel solar, módulo cargador de batería de litio TP4056 y el software XCTU. Los resultados obtenidos al implementar el sistema, en comparación al riego sin control que utilizó un caudal de agua de 298,944 L indistintamente del tipo de cultivo y mientras que con el sistema de control se destina la cantidad ideal de líquido para el riego según las variedades de productos, en efecto: la arveja utilizó 44,982 L optimizando el 85 % de agua. La cebolla utilizó 22,607 L con una optimización de 92% de agua. La lechuga arrepollada 18,433 L con una optimización de 93,83% de agua: la papa super chola 22,259 L con una optimización del 92,55%. Siendo el sistema efectivo en el consumo de agua.

Palabras clave: Arduino, cultivo, electroválvulas, riego, sistema.

ABSTRACT

The subject of this study is: "Design and implementation of a precision agriculture system for the optimization of irrigation water in the Chambo canton". Through this issue, a problem that required attention has been identified, because an efficient control of humidity is needed in the crops, supplying the water required for each one and thus avoiding the waste of the liquid, being this as a response with a lower impact to the environment. To provide a solution, it was proposed to work with a wireless network of sensors that measure humidity in different parts of the field, with these it was possible to determine the amount of water required and by using electro-valves to control the intake of water to the crops, likewise, the cessation of supply considering the dimensions of the land and the distances of each crop. The synthetic and analytical methods were used, the method of scientific observation. In addition, the experimental method was used since all the information provided by the study was collected, processed and analyzed. The system is made up by: sensors, solenoid valves, a SIM800L monitor, Arduino 1 microcontroller, Xbee coordinator, SIM800L, Arduino NANO, control board, LCD screen, DS3232, Xbee router. A solar panel, TP4056 lithium battery charger module and XCTU software were also incorporated. The results obtained when the system was implanted were: Compared with various products between the uncontrolled water flow using a base of 298,944 L, the following variants were obtained with a controlled water flow: with the pea he used 44,982 L obtaining an optimization of 85% water. Onion crops used 22.607 L an optimization of 92% of water. Head lettuce crops used 18,433 L with an optimization of 93.83% of water: The super chola potato 22,259 L with an optimization of 92.55%. Being the system effective in water consumption.

Keywords: Arduino, culture, solenoid, irrigation, system.

Reviewed by:

Mgs. Geovanny Armas Pesántez

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0602773301

INTRODUCCIÓN

La agricultura en el mundo va dando grandes pasos gracias a la ingeniería y la tecnología. Se ha evidenciado como las tecnologías de riego y clima, equipos para la nutrición inyectada, tratamientos de aguas, han podido lograr avances en la agricultura[1].

El agua es esencial para la supervivencia de todos los seres vivos, la humanidad depende de ella y no solo debe ser considerada como consumo directo, ya que los productos o cultivos que requieren las personas para la alimentación son dependientes de este recurso limitado[2]. Esta representa casi 70% de todas las extracciones de este recurso, y hasta 95% en algunos países en vías de desarrollo[3]. Las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) trabaja para construir la base de conocimiento científico para ayudar a los países a gestionar sus recursos hídricos de manera sostenible[4]. En América Latina la agricultura sigue siendo un sector productivo de suma importancia[5]. En Sudamérica la agricultura industrial basada en robotización y nuevas tecnologías es liderada por Argentina y Brasil, de acuerdo con datos de grupo ETC (Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración)[6]. Con el uso de nuevas tecnologías: robots, sensores, software se puede reducir las tareas agrícolas en menor tiempo y con mejores resultados[6].

En América Latina la creación de un fondo de agua es un proceso complejo y multidimensional, pero se ha visto como un ejemplo particular el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) en Ecuador, es el primero en su clase y denominado uno de los fondos de agua más exitosos de la región; en la provincia de Chimborazo existe la ordenanza para la conservación y restauración del ecosistema páramo y bosque[7], [8].

Por otra parte, la agricultura en el Ecuador es uno de los sectores en crecimiento con menor desarrollo[9]. El boletín de integración monetaria y financiera del país, con el objetivo de dinamizar y fortalecer el comercio Internacional ha suscrito acuerdos comerciales, para impulsar la producción nacional y fortalecer las relaciones entre países[10]. Dentro de los Acuerdos Comerciales Preferenciales en vigencia se encuentran:

- Colombia, Ecuador, Venezuela, El Mercado Común del Sur (MERCOSUR) suscrito el 18 de octubre de 2004.

Para el fomento del sector agrícola, en el Ecuador se han aprobado leyes como la “Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario” que consiste en estimular y proteger la actividad agropecuaria, incrementar la producción y la productividad; y, promover la organización de los productores[11]. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), entidad gubernamental es la encargada de regular, normar, facilitar, controlar y evaluar la gestión de la producción[12].

En la provincia de Chimborazo se cuenta con el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo (GADPCH) que, entre sus múltiples atribuciones, tiene la obligación de velar por: el fomento productivo, el riego, el ambiente, entre otros; brindando de esta manera apoyo a los agricultores (45.101 productores), quienes se dedican en su mayoría a los cultivos de: papa, maíz, frejol, cebada, trigo, chocho y quinua, productos apetecidos por consumidores internacionales. Sin embargo, hacen falta más estrategias de internacionalización. Por ejemplo; crear fondos de inversiones para que los productores puedan dotarse de infraestructura, maquinaria y equipamiento, mejorando la cantidad y la calidad de producción, con lo que los cultivos podrían ser más vendidos, elevando la demanda de productos agrícolas ecuatorianos en el mercado internacional[13], [14].

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

La sobreexplotación y mal uso de los recursos naturales están degradando al planeta, como es el caso del agua. Por lo cual es necesario establecer técnicas de cuidado para el uso correcto, especialmente donde haya escasez o se use como herramientas de trabajo[15]. El agua para riego ha aumentado en más del 60% desde 1960, además aproximadamente el 70% de toda el agua dulce disponible en el mundo, se utiliza para riego en la agricultura, esto debido a los ineficientes sistemas de riego, particularmente en los países en desarrollo, en donde el 60% del líquido vital se pierde al evaporarse[15].

La mayoría de los terrenos dedicados a la agricultura empresarial (AE) y a la agricultura familiar campesina (AFC) se encuentran en zonas rurales donde es escaso el acceso al agua para regadío. En razón a esto, el desperdicio y la desviación de flujo de agua con sistemas tradicionales en un sector termina afectando a otros que se dedican también a la agricultura. Lo que conduce a tener terrenos agrícolas infértiles por falta de este recurso[16].

En este sentido, los cultivos que más destacan en la provincia de Chimborazo específicamente en el cantón Chambo requieren diferentes cantidades de agua, tal como se muestra en la Tabla 1. En el sector de Molobog se cultiva principalmente la papa, en este punto de la provincia los terrenos son los adecuados para este sembrío y no requiere un cuidado permanente.

Tabla 1. Cantidad de agua por cultivo a lo largo del ciclo vegetativo[17]–[20].

CULTIVO	CANTIDAD DE AGUA EN mm (1mm=1ltr/m ²)
Papa	600 a 700
Maíz	600 a 1200
Frejol	400 a 500
Cebada	400 a 600
Trigo	500 a 700
Quinua	500 a 800
Cebolla Paitaña	600 a 800

Al momento, en algunos sectores del cantón Chambo se cuenta con sistemas de riego; sin embargo, hay que señalar que los sistemas utilizan materiales costosos y cableados, predispuestos sobre el terreno de cultivo. De esta manera, al utilizar cables dificulta las

maniobras en el espacio de siembra del agricultor, razón por la cual, dicho modo no son los óptimos, además, se debe considerar que el tiempo necesario para el arreglo y mantenimiento de este es mayor. En este sentido, nos preguntamos entonces, ¿El cuidado adecuado del agua repercutirá de forma positiva en los sembríos en zonas rurales, donde generalmente el líquido vital es escaso?

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto de investigación busca controlar eficientemente la humedad de los cultivos, abasteciendo únicamente el agua necesaria a cada uno; reduciendo de esta manera el desperdicio del líquido vital; fortaleciendo el crecimiento económico agrícola con un menor impacto ambiental, todo esto a través de una red inalámbrica de sensores que tengan la capacidad de medir la humedad en diferentes puntos, a partir de esto, se podrá conocer la cantidad de agua que se necesita, y mediante la utilización de electroválvulas se abastecerá la cantidad necesaria de agua, considerando la extensión de terreno y las distancias de sembrío de cada cultivo[21]. Es conveniente mencionar que para determinar el porcentaje de agua hay que analizar las condiciones del suelo en donde se va a sembrar, debido a que el mismo posee diferentes capacidades para almacenar el agua y va a depender de su textura y estructura. Así, el porcentaje de humedad recomendado para la mayoría de los cultivos es cercano al 50% de agua útil[22].

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de agricultura de precisión que permita la optimización del agua de riego en el sector Molobog vía a la Parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los recursos necesarios para el desarrollo de un sistema de agricultura de precisión en el sector Molobog vía a la Parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo.
- Diseñar la red inalámbrica de sensores.
- Diseñar el sistema de actuación basado en electroválvulas.
- Implementar la red inalámbrica de sensores y el sistema de actuación basado en electroválvulas en el lugar especificado.
- Utilizar una red de comunicación celular que permita el control y monitoreo del sistema de agricultura de precisión.
- Analizar los resultados obtenidos luego de la implementación y pruebas del sistema de agricultura de precisión.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Después de haber revisado las diferentes fuentes bibliográficas y trabajos de investigación relacionados con el tema se puede detallar lo siguiente:

El proyecto de titulación “RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUERO” trabaja con los módulos XBee Serie1 los cuales representan una solución integrada que brinda un medio inalámbrico para la comunicación entre la PC y la placa de monitoreo que es la encargada de recoger los niveles de pH, oxígeno disuelto (DO) y potencial de reducción de oxidación conocido como oxidation reduction potencial (ORP) del agua a través de los sensores[23].

En el proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO POR MICROASPERSIÓN CON CONTROL REMOTO GSM SMS Y ARDUINO PARA LAS ÁREAS VERDES Y PLANTAS ORNAMENTALES”, se presenta un sistema de riego diseñado para el ahorro hídrico sobre el consumo excesivo de agua que se genera mediante el uso inapropiado, permitiendo que mensualmente se reduzca a 15.909,6 litros en la toma de agua 1 y 23.251, 2 litros en la toma de agua 2[24].

Se concluye en el trabajo de titulación “SISTEMA DE RIEGO AUTÓNOMO BASADO EN LA INTERNET DE LAS COSAS”, que un sistema de riego autónomo reduce recursos en el sector agrícola y que las tecnologías utilizadas facilitan de manera óptima el funcionamiento de control y fiabilidad en la comunicación[25].

El proyecto de vinculación con la sociedad “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE VARIABLE AMBIENTALES BASADO EN REDES DE SENSORES, QUE PERMITA CUANTIFICAR EL RECURSO AGUA, DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO EN COLABORACIÓN CON LA DIRECCIÓN DE RIEGO DEL GAD PROVINCIAL” presenta un sistema autónomo basado en

una red de sensores, para cuantificar el recurso agua en las comunidades Gulachuayco, San Juan, El Carmen, Gatazo, Cebadas, Laime, Capulispungo, Las Abras, Yurayacu, Chambo -Guano de la provincia de Chimborazo en colaboración con la Dirección de Riego del GAD Provincial. Como una de sus metas es la creación de una estación meteorológica autónoma y funcional que recoge y almacena los datos de las variables ambientales necesarias para cuantificar el recurso agua[26].

El proyecto de titulación con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA CONTROL Y MONITOREO DE RESERVORIOS DE AGUA EMPLEANDO COMUNICACIÓN MÓVIL GSM/GPRS EN SISTEMAS DE RIEGO” presenta un sistema empleando tecnología gsm/gprs que presenta la eficiencia de la implementación de la automatización y telecontrol en el sistema de riego, con la implementación de un prototipo de control y monitoreo empleando comunicación móvil[27].

Se puede apreciar que los proyectos de investigación realizados son muy importantes en la agricultura y a través de la optimización de recursos se busca la preservación hídrica, por medio de sistemas adecuados, eficientes y efectivos según sus necesidades.

2.2.Sistema de agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en aplicar la cantidad correcta en el momento y el lugar adecuado de insumos, esto por medio del uso de tecnología de la información con el fin de preparar el manejo de los suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un área. En la Figura 1 se observa las etapas que cuenta la agricultura de precisión[28], [29].

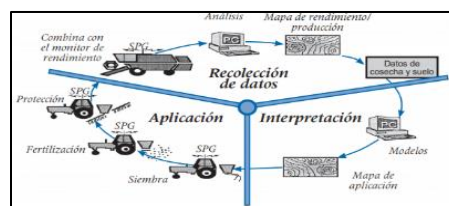


Figura 1. Etapas de la agricultura de precisión.

2.3.Sistema de actuación

Las señales neumáticas se usan para manejar elementos finales de control, aún cuando el sistema es eléctrico siendo esto posible por el accionamiento de válvulas y otros dispositivos de control,

estas válvulas son utilizadas en los sistemas neumáticos e hidráulicos para controlar el sentido del flujo del fluido que pasa por un sistema[30].

2.3.1. Electroválvulas.

La electroválvula también denominada válvula Solenoide de uso general, es una válvula que permite o impide el paso de un líquido en un circuito. La apertura y cierre de la válvula se realiza a través de un campo magnético generado por una bobina en una base fija que atrae el émbolo.

2.4.Red inalámbrica de sensores.

Son dispositivos autónomos, distribuidos a lo largo de un área de interés, tiene como objetivo monitorear variables físicas o ambientales tales como temperatura, sonido, vibraciones, presión, movimiento o agentes contaminantes. En cuanto a tecnología, frente a Wi-Fi o Bluetooth se eligió las redes inalámbricas WSN con protocolos de comunicación Zigbee que puede llegar hasta los 1200 metros[31].

2.5.Análisis de los dispositivos Electrónicos.

2.5.1. Microcontrolador XBee

Para la red de sensores inalámbricos se optó por el módulo XBee S2C presente en la Figura 2 (a) a diferencia del modelo Jennie JN5121 se expone en la Figura 2 (b) que presenta un costo mayor y tiene similares características de operación como se manifiesta en la Tabla 2[32].

Tabla 2. Comparativa de módulos

Característica	XBee s2c	Jennie JN5121
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz	2.3 GHz
Velocidad de datos	250 kbps	250 kbps
Rango de señal	1200 metros máx.	800 metros máx.
Sensibilidad	-100 a -102 dBm	-90 a -102 dBm
Interfaz de comunicación	SPI-UART	SPI-UART
Temperatura de operación	- 40 a 85 °C	-40 a 80 °C
Costo	12 \$	95\$ kit

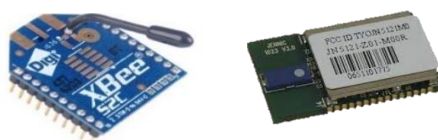


Figura 2. (a) Microcontrolador, (b) Jennie JN5121.

2.5.2. XBee Shield

Es una tarjeta que permite conectar un módulo XBee con la placa de Arduino como se da a conocer en la Figura 3, ya sea el Pro o el USB, dotándole de esta manera la capacidad de comunicarse inalámbricamente, con el apoyo del módulo de comunicaciones XBee, es el complemento del módulo XBee S2C compatible con placas controladoras de Arduino[32], [33].



Figura 3. XBee Shield.

2.5.3. Xbee Explorer adaptador mini USB

Consiste en una placa que sirve para conectar USB y convertir la conexión a serial como se enseña en la Figura 4, siendo compatible con todos los módulos XBee, series 1 y 2.5, en sus versiones estándar y pro, permitiendo establecer una comunicación directa con la computadora para poder programar todos los módulos y tener acceso a sus pines seriales[34].



Figura 4. XBee Explorer adaptador mini USB.

2.5.4. Microcontrolador

Para la placa controladora se optó por Arduino Uno que incluye un microcontrolador ATmega328P como se muestra en la Figura 5, esta placa posee 14 pines digitales de entrada/salida, del total de estos, 6 pueden ser usados como salidas PWM, además posee 6 entradas de tipo análogas, un resonador cerámico de 16 MHz. En comparación a otro dispositivo como el Arduino nano como se presenta en la Tabla 3, este no posee la conexión de alimentador CC y su funcionamiento está dado por un cable USB Mini-B[35].



Figura 5. Placa Arduino UNO.

Tabla 3. Especificaciones técnicas Arduino UNO.

Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V	5V
Voltaje de entrada (límite)	6-20 V	7-12 V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM).	22 (6 de los cuales son PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6	6
Pines de entrada analógica	6	8
Corriente CC por pin de E / S	20 mA	1 KB
Corriente CC para pin de 3.3V	50 mA	40 mA (pines de E / S)
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utiliza el gestor de arranque	32 KB de los cuales 2 KB utiliza el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)	2 KB
EEPROM	1 KB (ATmega328P)	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz

2.5.5. Sensor de humedad de suelo higrómetro YL 69

Consiste en un módulo que se conforma por dos piezas o unidades, uno de ellos es la tarjeta electrónica o placa y el otro consiste en una sonda con dos almohadillas, las cuales pueden detectar el contenido de agua como se indica en la Figura 6 (a). En comparación con el sensor resistivo funduino que se expone en la Figura 6 (b) que todos sus componentes están integrados en una sola placa electrónica, lo cual se hace imposible enterrarlo en el suelo [36].

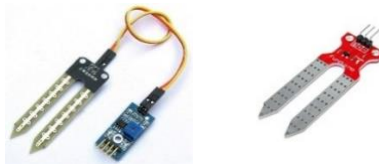


Figura 6. (a) Sensor higrómetro YL 69, (b) Sensor funduino.

2.5.6. SIM800V2.0 GSM/GPRS

Es un módulo de telefonía móvil GSM/GPRS Quad- Band se enseña en la Figura 7 (a), que puede trabajar en las siguientes bandas: 850, 900,1800 y 1900 HZ. Este dispositivo tiene la

posibilidad de añadir voz, SMS y datos a los proyectos con Arduino. En otras palabras, se diría que se puede conectar un teléfono celular al proyecto, por lo que es importante tener una Simcard (2G), con voltaje de entrada de 5v. Mientras su antecesor el SIM800L que se muestra en la Figura 7 (b) no permite voltajes mayores de 3.7v lo cual es molesto, ya que se necesita componentes extras para poder trabajar[37].



Figura 7. (a) SIM800V2.0 GSM, (b) GPRS, SIM800L.

2.5.7. LCD 20*4 + MÓDULO I2C

La pantalla LCD tienen 19 caracteres x 2 líneas como se presenta en la Figura 8, su instalación no es dificultosa y es compatible con plataformas Arduino, Raspberry o cualquier microcontrolador. Es compatible con librerías LCD de los compiladores del mercado, al incluir el módulo I2C[38].

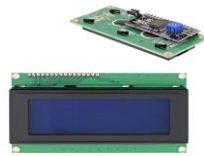


Figura 8. LCD 20*4+ MÓDULO I2C.

2.5.8. Ds3231

DS3231 es un módulo I2C (RTC) en tiempo real sumamente preciso como se da a conocer en la Figura 9 (a), tiene un oscilador de cristal integrado con compensación de temperatura (TCXO) y cristal. En el mercado existen microcontroladores como la ESP32 que se expone en la Figura 9 (b) que posee un reloj RTC, sin embargo, este incrementaría el costo, ya que su precio está por los \$18 mientras que el Ds3231 en \$2. Además, la ESP32 no posee ranura para un batería lo cual desconectar perdería su configuración[39].

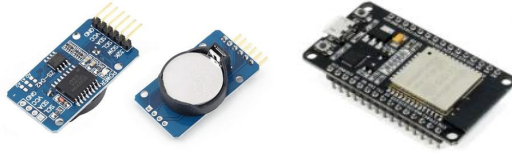


Figura 9. (a) Ds3231 y (b) ESP 32.

2.5.9. Batería li – ion de 20000mah 5v

Batería recargable en Litio y Titanio 5v 20ah como se manifiesta en la Figura 10. Batería fabricada con química de óxido de Titanato de Litio (LTO) que emplea materiales nano-estructurales que dan un mejor rendimiento, calidad y vida útil. Su costo es relativamente bajo y presenta una alta durabilidad de carga[40].



Figura 10. Batería li – ion de 20000mah 5v.

2.5.10. Panel solar 9v 2w

Se compone de celdas solares de silicio cristalino como se indica en la Figura 11, es eficiente para trabajar en proyectos relacionados con energía solar, robótica, baterías[41].



Figura 11. Panel solar 9v 2w.

2.5.11. Módulo cargador de batería de litio TP4056

El módulo cargador USB de batería litio TP4056, facilita la carga de manera sencilla y segura para las baterías LiPo/LiOn de una celda, como se expone en la Figura 12[42].



Figura 12. Módulo cargador de batería de litio TP4056.

2.5.12. PFM control DC-DC 0.9V-5V para módulo de fuente USB 5V

Posee un indicador de voltaje de entrada integrado, cuenta con alta eficiencia de conversión, como se muestra en la Figura 13[43].



Figura 13. PFM control DC-DC 0.9V-5V para módulo de fuente USB 5V.

2.5.13. Controlador de carga solar

El controlador ALLPOWERS, es un cargador de batería de plomo-ácido capaz de manejar celdas inundadas, AGM o GEL como se presenta en la Figura 14, puede funcionar dentro de un rango de temperatura de -35°C a $+60^{\circ}\text{C}$, cuenta con múltiples funciones de protección de circuito eléctrico[44].



Figura 14. Solar Charge controller 20 A.

2.5.14. Inversor de energía

Power inverter es un dispositivo electrónico que se indica en la Figura 15, cuya función es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua, a un voltaje de salida de corriente alterna[45].



Figura 15. Inversor de energía 500w DC12v a AC110v.

2.5.15. Arduino IDE

IDE-entorno de desarrollo integrado, nombrado así IDE (sigla en inglés de integrated development environment), es un programa informático formado por un grupo de herramientas

que sirven para la programación informática, puede enfocarse únicamente con un lenguaje de programación o a la vez se puede realizar con varios. Selecciona el IDE de Arduino por su interfaz sencilla a comparación de otros entornos de programación, como Visual Studio Code que requieren reconfiguraciones complejas de patch o núcleo para programar los microcontroladores de Arduino[37].

2.5.16. XCTU

XCTU se presenta como una aplicación gratuita de característica multiplataforma desarrollada para que los programadores puedan interactuar con los módulos tipo Digi RF por medio de una interfaz gráfica fácil de usar. Tiene herramientas que permiten configurar y poner a prueba los módulos de RF XBee. A diferencia de otros simuladores inalámbricos como GNS3, el software XCTU no requiere procesadores complejos para su funcionamiento[35].

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1.Métodos lógicos

Se ha utilizado el método sintético, por ser un proceso mediante el cual se relacionan hechos aparentemente aislados y se formula una teoría que unifica los diversos elementos. Se relacionan la humedad de los cultivos con la utilización de sensores inalámbricos y electroválvulas para el control del mismo. Además, se hace uso del método analítico, se distinguen los elementos de un fenómeno y se procede a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado.

3.2.Métodos Empíricos

Observación científica, consiste en la percepción directa del objeto de investigación.

La observación investigativa es el instrumento universal del científico, este nos permitirá tomar la lectura de la humedad en el terreno y su control de agua en cultivos.

3.3.Método experimental

Se utilizará el método de experimentación científica, ya que se implementará un sistema de agricultura de precisión y esto conlleva a la recolección, procesamiento de información y análisis de datos, para que así el sistema actúe de una forma oportuna de acuerdo con la variable que se estima (humedad).

El sistema será automático y contará con un tablero de control de forma física (con el propósito de ser más interactiva con el usuario), además la visualización en el panel central, esto servirá para verificar el cultivo determinado, la humedad máxima y mínima, el día en el que se efectuará el control, el día actual en que se encuentre el sistema, y la humedad en tiempo real del cultivo, obteniendo una información clara, esto gracias a la comunicación entre los módulos XBee como se da a conocer en la Figura 16.

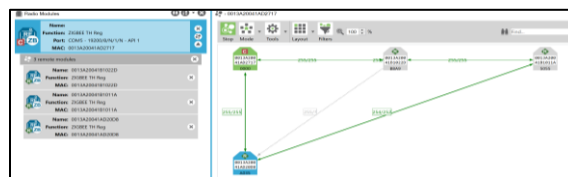


Figura 16. Simulación en XCTU.

Otro software como Proteus permite realizar los esquemas de conexión entre distintos componentes electrónicos, como se expone en la Figura 17.

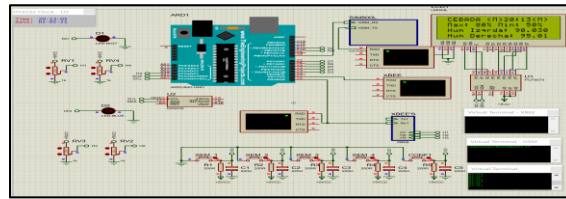


Figura 17. Esquema de conexión de circuito de control central de riego en Proteus.

A continuación, en las Figuras 18 (a), (b), (c) y (d) se muestra los diseños de proceso de los componentes del sistema de agricultura de precisión:

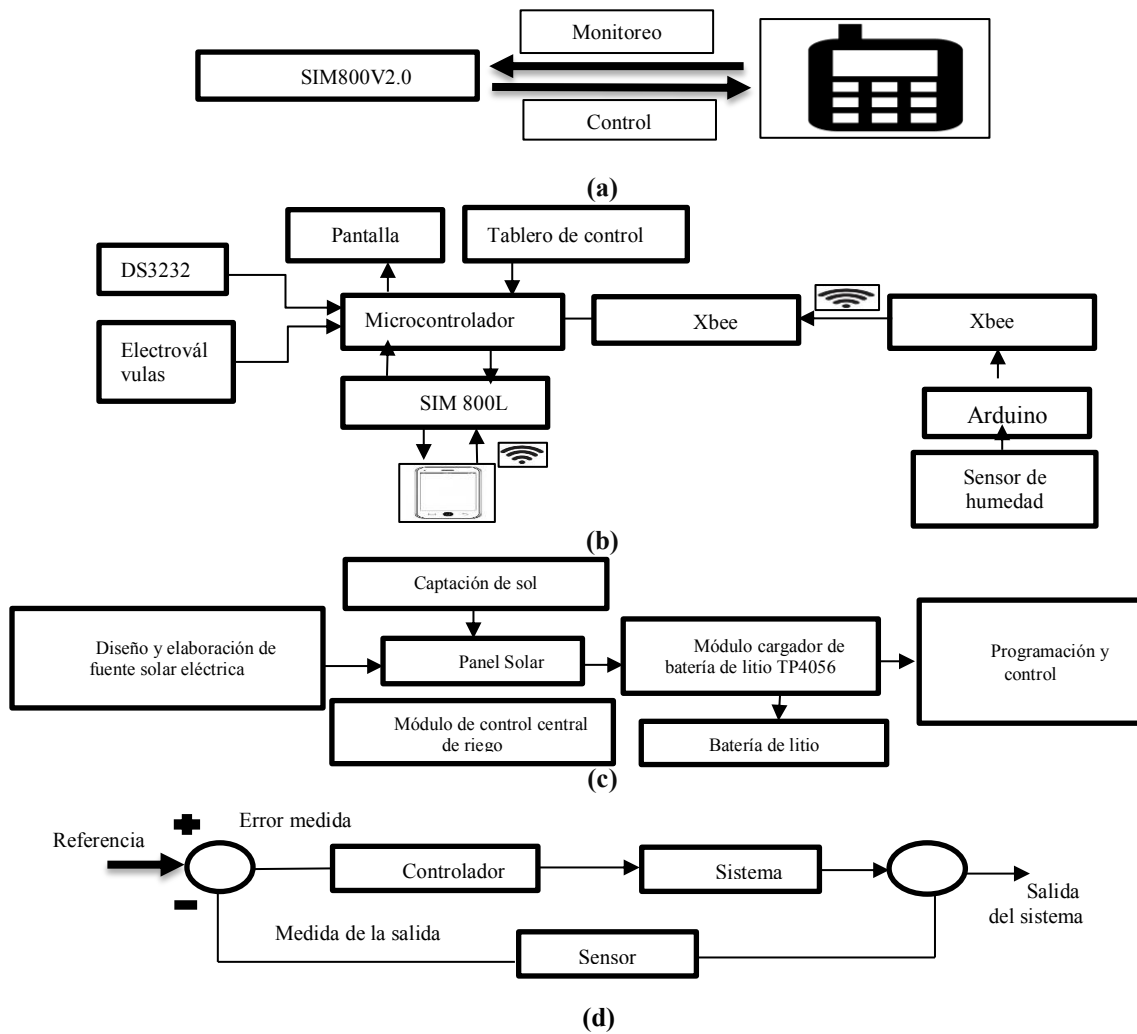


Figura 18. (a) Comunicación inalámbrica 2G, (b) Diseño de conexión general, (c) Proceso para diseño de fuente de energía solar y (d) Sistema general.

Los diagramas de la Figura 18 muestran las etapas del sistema, siendo estos: el modo de comunicación inalámbrica para el mando a distancia como se indica en la Figura 18 (a), el diseño de conexión general como se presenta en Figura 18 (b). Adicional, se describe los procesos para el diseño de alimentación como se muestra en la Figura 18 (c) de los dispositivos con una fuente de energía solar. Por último, en la Figura 18 (d), se describe el sistema general de control de un sistema de lazo cerrado.

3.4. Tipo de investigación

Investigación aplicada, puesto que se va a diseñar una red de sensores y electroválvulas para controlar el consumo del agua en cultivos, aplicando los conceptos vistos en la academia y de esa manera optimizar el agua de riego del cantón Chambo.

Investigación descriptiva, puesto que se tratará de establecer lo más apegado a la realidad el fenómeno de irrigación adecuada de cultivos.

Investigación explicativa, debido a que se tratará de explicar de una manera adecuada y metódica la implementación de la agricultura de precisión a través de la utilización de una red de sensores inalámbricos y electroválvulas.

Investigación cuantitativa, puesto que se obtendrán valores relacionados con el porcentaje de humedad requerida para cada cultivo.

Investigación experimental, ya que se implementará el diseño propuesto para este estudio.

Investigación longitudinal, debido a que se realizará un seguimiento del nivel de humedad de los cultivos a fin, de obtener un sistema de agricultura de precisión fiable.

3.5. Técnicas

Para la ejecución y el levantamiento de información se aplicaron entrevistas estructuradas a cierto número de agricultores, con lo cual, se conoció las técnicas de regadío que utilizan y su interés por experimentar e implementar otros métodos de regadío.

3.6. Definición de hipótesis

Definición de Hipótesis de Investigación (Hi)

El diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, permitirá la optimización del agua de riego del Cantón Chambo.

Definición de Hipótesis Nula (Ho)

El diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, no permitirá la optimización del agua de riego del Cantón Chambo.

3.7. Operacionalización de Variables

Independiente: diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión.

Dependiente: optimización del agua de riego del Cantón Chambo.

Tabla 4. Variables Dependientes e Independientes[46], [47].

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTO
Diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión.	Variable independiente se define toda aquella variable que se pone a prueba a nivel experimental, siendo manipulada por el investigador con el fin de probar la hipótesis. La agricultura de precisión es la encargada de recoger, procesar y analizar datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variable estimada.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño del sistema automático funcional para control del fluido de agua de riego. ✓ Implementación de un sistema sustentable y sostenible, con base a energías renovables. ✓ Utilización de actuadores. ✓ Comunicación inalámbrica GSM/GPRS para mensajes cortos de texto. ✓ Red de sensores inalámbrica (WSN). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Paneles solares. ✓ Sensores de humedad. ✓ Dispositivos emisores y receptores. ✓ Componentes electrónicos. ✓ Arduino y su IDE ✓ Módulo GSM/GPRS ✓ Módulo de reloj y calendario. ✓ Electroválvulas. ✓ Baterías para almacenar energía solar. ✓ Pantalla LCD. ✓ Módulos para el control y distribución de carga. ✓ Datasheets.
Optimización del agua de riego del Cantón Chambo.	La variable dependiente es aquella cualidad o característica cuyo comportamiento se ve afectado por la variable independiente. La preservación del líquido vital en el sector Molobog cantón Chambo es fundamental ya que en este punto de la provincia de Chimborazo existe poca afluencia de agua de riego que se utiliza para la agricultura y ganadería.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cantidad de agua optimizada. ✓ Contraste con medidas de uso del agua anterior al sistema. (Lámina de agua). ✓ Cantidad de productos cosechados con el sistema de riego. ✓ Calidad de productos cosechados con el sistema de riego. (tamaño, olor, sabor). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observación directa.

3.8. Comprobación de Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis de investigación se dará a la variable independiente X el siguiente valor:

X = Sistema de agricultura de precisión.

A través, del cual se determinará el impacto sobre la variable dependiente y Optimización del agua de riego del Cantón Chambo. Así en la Tabla 5 se presentarán los resultados obtenidos para la variable dependiente, aplicada con un número de usuarios concurrentes.

Tabla 5. Tabla cálculo Chi Cuadro

O	E	O-E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
21	19,912	1,087	1,182	0,059
22	23,087	1,087	1,182	0,059
34	19,912	14,087	198,450	9,966
9	23,087	14,087	198,450	8,595
11	19,912	8,912	79,437	8,989
32	23,087	8,912	79,437	3,440
3	9,261	6,261	39,209	4,233
17	10,738	6,261	39,209	3,651
149	149		CHI	33,987

3.8.1. Decisión

Para 3 grados de libertad y un nivel de significancia de 0,05 se obtiene en la tabla CHI cuadrado 7,815 y como el valor calculado es **33,987** que se encuentra fuera de la zona de aceptación, por tal al ser un valor superior, se acepta la hipótesis alternativa de la investigación, donde la (O) corresponde a la frecuencia absoluta observada y frecuencia esperada (E). La cual, dice: El diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, permitirá la optimización del agua de riego del Cantón Chambo.

3.9. Población de Estudio y Muestra

3.9.1. Población:

Zonas de cultivo donde el agua es limitada y lugares de cultivos donde se necesite un control adecuado de agua específicamente el sector Molobog vía a la Parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo[48].



Figura 19. Acceso y uso del agua de riego del Cantón Chambo.

3.9.2. Muestra:

Para el estudio se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia para escoger el terreno que se encuentra ubicado en el punto medio con las coordenadas Este 766460,4351 y Norte 98055072,1392 con un área de 4094.4895 m² en donde será implementado el sistema de agricultura de precisión, en el cual se utilizará sensores de humedad en distribución aleatoria que dependerá de los relieves del terreno para que así exista un control idóneo y una disposición adecuada de agua para los cultivos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Calibración de sensores

Para este punto fue determinante la ayuda de un profesional en la materia de agronomía, ya que era importante tener una idea clara y un asesoramiento correcto para poder determinar ciertos parámetros. Para ello, como primer punto era indispensable conocer la textura del suelo en el que se iba a implementar, para esto fue necesario realizar ensayos de laboratorio, el trabajo fue recolectar muestras de suelo de 30 cm de profundidad con un saca bocados, en 6 puntos del terreno como se muestra en (Anexo 3).

Para determinar la curva de retención de humedad del suelo y obtener datos precisos se tomaron 5 puntos, realizando un hueco de 30 cm con saca bocados y un tubo de PVC de 1 pulgada de diámetro y 5 cm de largo como se expresa en (Anexo 3).

Con los reportes recibidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, se procedió hacer más toma de datos con instrumentación de agronomía.

Para medir la capacidad de infiltración del suelo en el surco y lomo se utilizó un infiltrómetro, con esto se pudo conocer el paso del agua de la superficie al interior del suelo, ya que es un punto a considerar en los diseños de sistemas de riego, si se aplica abundante agua y no existe el paso de la superficie al interior el suelo, ese riego se considera no efectivo y toda el agua sería desperdiciada y no aprovechada como se indica en (Anexo 4).

Se obtuvo los siguientes resultados y se determinó que existe mayor velocidad de infiltración en el canal, como se manifiesta en la Tabla 6, siendo esto positivo ya que por donde pasará el agua, existe mayor velocidad de infiltración y mejor aprovechamiento de líquido.

Tabla 6. Capacidad de Infiltración del suelo.

Muestreo	Canal	Lomo
V Infiltración	80/7,24	40/8,54
V Infiltración	11,04 mm/s	4,68 mm/s

Con el penetrómetro se pudo ver en qué situación se encuentra la compactación del suelo, con ello se determinó la dureza o la resistencia como se indica en la Tabla 7. Se introduce este instrumento a 30 centímetros en el área a analizar en este caso en el surco y lomo, arrojando datos de la compresión del suelo como se enseña en (Anexo 5). Los datos obtenidos en este punto son los siguientes:

Tabla 7. Dureza del suelo.

Muestreo	Canal	Lomo
Dureza	630 newton/cm ²	440 newton/cm ²

El suelo compactado obstruye el proceso de crecimiento del cultivo, es por esto que los datos de compactación del suelo en el lomo son menos al del canal ya que en el lomo es donde se encuentra las semillas o la planta y en el canal existe mayor compactación siendo el sector por donde fluye el agua y hay mayor asentamiento.

Una vez recolectada toda esta información es necesario revisar los análisis de laboratorio como se da a conocer en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis en el laboratorio INIAP.

TEXTURA	Franco Limoso	
CC	23,8	%
PMP LABORATORIO	13,2	%
AU	10,6	%
Da	1,31	gr/cc
MO	2,4	%
ARENA	39	%
LIMO	50	%
ARCILLA	11	%

Con estos datos se conoce la capacidad de campo (CC)= 23.8% que es la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener y el punto de marchitez permanente (PMP)= 13.2% que es la mínima cantidad de agua que el suelo va a retener. Con estos datos obtenidos se determinó un punto entre CC y PMP haciendo que este punto sea el nuevo PMP, con el propósito de que el suelo no se encuentre al mínimo de agua ya que si bajara a menos de 13.2% se provocaría un estrés hídrico en la planta, sabiendo que 23.8% de humedad máxima se provocaría un desgaste del 25% haciendo que este sea el mínimo, de tal forma que el nuevo PMP encendido sea de 17.85%.

Otro punto esencial a considerar son los tipos de cultivo de la zona, es por ello que tras recopilar información se determinó que en la zona de Molobog los cultivos más comunes y cercanos al terreno de estudio son los de ciclo corto entre los que sobresalen son: la papa de variedad súper chola, la arveja de variedad quantum, la cebolla colorada variedad burguesa, la lechuga de variedad iceberg o arrepollada. Lo común de estos cultivos es que su raíz está entre los 30 y 40 cm, dato que es fundamental para determinar ciertos parámetros.

Conociendo CC es necesario tomar una muestra del terreno con un barreno a 30 centímetros (Anexo 6) para saber en qué porcentaje de humedad se encuentra en ese momento, a través de un medidor de humedad de laboratorio como se presenta en la Figura 20 y partiendo de este punto, determinar cuánta cantidad de agua se necesita para llegar a CC si la humedad se encontrara por debajo de CC.



Figura 20. Porcentaje de humedad.

Como se puede observar en la Figura 20, la lectura de porcentaje de humedad es de 22.411% lo que nos indica que nos encontramos por debajo de CC por lo que para llegar a $CC = 23.8\%$ la diferencia es de 1.389.

Para ello es necesario identificar qué tipo de cultivo se encuentra y determinar el ancho del surco y el lomo, el tipo de cultivo es la cebolla colorada variedad burguesa el ancho del surco es de 15 centímetros, el lomo de 30 centímetros y con una raíz de 30 centímetros tal como se ve en la Figura 21[49].

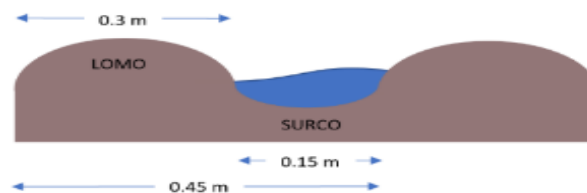


Figura 21. Ancho de Surco y Lomo.

Para la calcular la cantidad de agua que se necesita se calcula el agua útil, utilizando algunos datos que se tiene del laboratorio, y tomando en cuenta que el PMP será el valor que da el medidor de humedad del laboratorio.

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC} - \text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC} - \text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (0.238 - 0.224)1.31 * 300\text{mm}$$

$$\text{Agua Útil} = 5.502 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

Ahora se determinará el área de surco, el fin de esto es llegar a CC y saber el valor que los sensores del proyecto proporcionan.



Figura 22. Medidas de surco.

$$\text{Área de surco mojado} = \text{Longitud surco} * \text{ancho surco}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 50\text{m} * 0.15\text{m}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 7.5\text{m}^2$$

Se procede a determinar el número de surcos que el terreno tiene

$$\text{Número de surcos} = \text{Longitud lado del canal} / \text{ancho lomo y surco}$$

$$\text{Número de surcos} = \frac{58.53\text{m}}{0.45\text{m}}$$

$$\text{Número de surcos} = 130.06 \Rightarrow 130$$

Se determina el área que se va a humedecer o área mojada.

$$\text{Área mojada} = \text{Número de surcos} * \text{área surco}$$

$$\text{Área mojada} = 130 * 7.5\text{m}^2$$

$$\text{Área mojada} = 975\text{m}^2$$

Ahora se determina la cantidad de agua que debe estar en el surco para que la humedad en dicho surco alcance a CC.

Agua requerida = Área mojada * Agua Útil

$$\text{Agua requerida} = 975\text{m}^2 * 5.502 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Agua requerida} = 5364.45 \text{ lt}$$

$$\text{Agua requerida} = 5.36\text{m}^3$$

Con este valor obtenido se procede a trabajar en el terreno para regar la cantidad de agua que se determinó, estando fuera del día de riego del terreno fue necesario abastecer tanques de agua (Anexo 7). Para esto se requirió 2 horas de riego permanente con un flujo de agua lento. Una vez terminado se tomó otras muestras de suelo con un barreno a 30 centímetros y se lo llevó al laboratorio a determinar si la humedad alcanzó a CC.

Los resultados dados en laboratorio son de 23.06% tal como se muestra en (Anexo 7) lo que está cercano a CC=23.8. A continuación, se procede a instalar los sensores del proyecto en el terreno, el sensor se lo pondrá a 30 centímetros de profundidad del surco. Por lo que la distribución de estos estará a 2 metros del inicio del surco y a dos metros antes de finalizar el surco como se expone en (Anexo 8).

Los datos obtenidos por el sensor ya ubicado e instalados correctamente es de 69.01, este dato es fundamental ya que este valor es el indicador de cierre de las electroválvulas como se enseña en (Anexo 9).

A partir de ese día se tomó muestras a diario para poder sacar una gráfica de relación y determinar el día en que el suelo llegue a PMP encendido. Los datos recopilados se muestran en la Tabla 9 y son los siguientes: cómo se puede observar en la primera ocasión del 25 al 30 de junio tomó 6 días llegar a PMP, mientras que del 01 al 07 de julio tomó 7 días, teniendo en cuenta que el día 05 de julio se apreció precipitaciones de lluvia.

Tabla 9. Toma de muestras.

Fecha	% humedad Laboratorio	sensor
25-jun	23,06	69,01
26-jun	22,08	68,04
27-jun	21,37	66,86
28-jun	20,64	64,71
29-jun	19,91	62,27
30-jun	17,9	58,16
1-jul	23,06	69,01
2-jul	22,41	68,91
3-jul	21,37	67,64
4-jul	19,8	64,22
5-jul	18,9	60,02
6-jul	18,88	59,43
7-jul	17,9	58,16

Se realizó el Gráfico 1, donde se muestra en línea azul el comportamiento de las humedades del sustrato de suelo tomada y procesada en el laboratorio a través del dispositivo digital de medición de humedad, mientras que la línea de color tomate son los datos tomados en campo a través del sensor de humedad YL 69, la lectura del dispositivo digital como la del sensor de humedad son tomados el mismo día con diferencia de 15 minutos. Se observa la humedad del parámetro CC= 23.06 (rojo) como va disminuyendo progresivamente al pasar los días y al momento de llegar a PMP (verde) que es el mínimo de humedad permitido, se restablece la humedad con regadío hasta alcanzar nuevamente la humedad del parámetro CC.

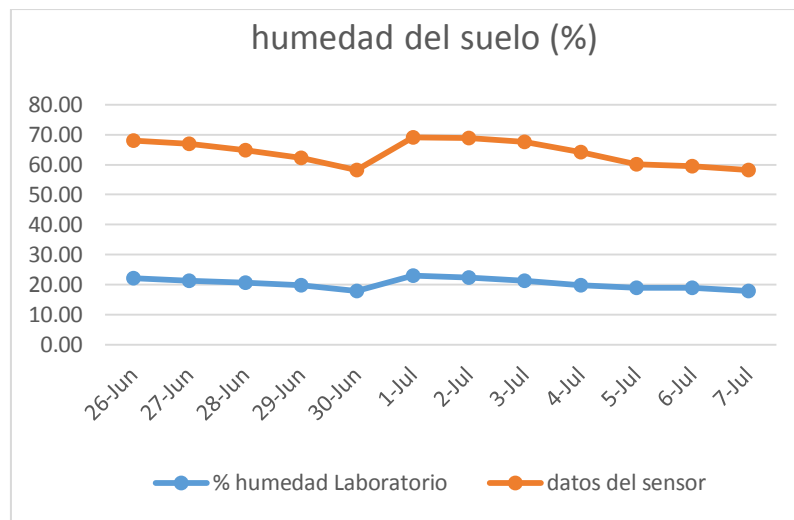


Gráfico 1. Porcentaje de Humedad laboratorio con los datos del sensor.

En el Gráfico 1, se puede observar que el comportamiento del porcentaje de humedad de laboratorio y los datos del sensor son similares, lo cual en el sistema de regadío ya calibrado CC en valores numéricos es de 69,01 y PMP encendido es de 58,16. Haciendo relación los datos obtenidos con los datos de laboratorio se pudo llegar a una adecuada calibración.

Cada parcela agrícola tiene acceso al recurso hídrico una vez por semana, por lo que es indispensable optimizar y hacer que este día de regadío sea lo más eficiente, con una calibración de sensores correcta y un buen funcionamiento esto sería posible como se observa en (Anexo 3). Un punto importante que se detalla, es que cada cultivo por su diferente dimensión en surco y lomo va a requerir diferente cantidad de agua, como se presenta los cálculos respectivos a continuación:

4.1.2. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita en la cebolla colorada burguesa

Tabla 10. Caracterización del suelo para la cebolla colorada.

Textura	Franco limosa	
CC	23,8	%
PMP Laboratorio	13,2	%
AU	10,6	%
Da	1,31	gr/cc
MO	2,4	%
Arena	39	%
Limo	50	%
Arcilla	11	%
Z	300	mm
Consumo	25	%
Consumo HUM 25%	5,95	%
Apagado	23,8	%
PMP encendido	17,85	%

$$\text{Agua Útil} = (CC - PMP) Da * Z$$

$$\text{Agua Útil} = (CC - PMP) Da * Z$$

$$\text{Agua Útil} = (0.238 - 0.179)1.31 * 300\text{mm}$$

$$\text{Agua Útil} = 23.187 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Área de surco mojado} = \text{Longitud surco} * \text{ancho surco}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 50\text{m} * 0.15\text{m}$$



Figura 23. Medidas de surco arveja.

Área de surco mojado=7.5m²

Número de surcos =Longitud lado del canal / ancho lomo y surco

$$\text{Número de surcos} = \frac{58.53\text{m}}{0.45\text{m}}$$

Número de surcos= 130.06 => 130

Área mojada= Número de surcos * área surco

$$\text{Área mojada} = 130 * 7.5\text{m}^2$$

$$\text{Área mojada} = 975\text{m}^2$$

Agua requerida =Área mojada * Agua Útil

$$\text{Agua requerida} = 975\text{m}^2 * 23.187 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Agua requerida} = 22,607.325 \text{ lt} =22.60\text{m}^3$$

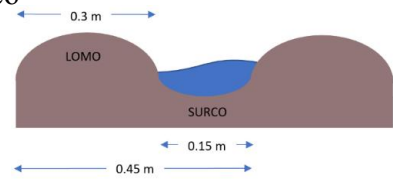


Figura 24. Lomo/ Surco Cebolla.

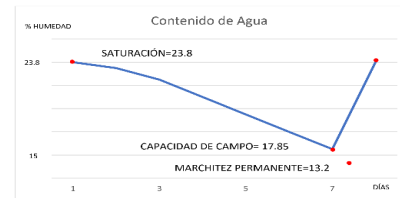


Gráfico 2. Contenido de agua para la cebolla.

4.1.3. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita en la Arveja Quantum

Tabla 11. Caracterización del suelo arveja quantum.

Textura	Franco limosa	
CC	23,8	%
PMP Laboratorio	13,2	%
AU	10,6	%
Da	1,31	gt/cc
MO	2,4	%
Arena	39	%
Limo	50	%
Arcilla	11	%
Z	300	mm
Consumo	25	%
Consumo HUM 25%	5,95	%
Apagado	23,8	%
PMP encendido	17,85	%

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC}-\text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC}-\text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (0.238-0.179)1.31 * 300\text{mm}$$

$$\text{Agua Útil} = 23.187 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

Área de surco mojado=Longitud surco * ancho surco

$$\text{Área de surco mojado} = 50\text{m} * 0.4\text{m}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 20\text{m}^2$$

Número de surcos=Longitud lado del canal / ancho lomo y surco



Figura 25. Medidas de surco arveja.

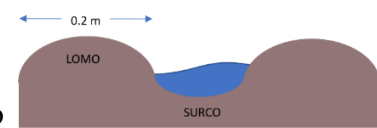


Figura 26. Lomo/ Surco arveja.

$$\text{Número de surcos} = \frac{58.53\text{m}}{0.6\text{m}}$$

$$\text{Número de surcos} = 97.55 \Rightarrow 97$$

$$\text{Área mojada} = \text{Número de surcos} * \text{área surco}$$

$$\text{Área mojada} = 97 * 20\text{m}^2$$

$$\text{Área mojada} = 1940\text{m}^2$$

$$\text{Agua requerida} = \text{Área mojada} * \text{Agua Útil}$$

$$\text{Agua requerida} = 1940\text{m}^2 * 23.187 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Agua requerida} = 44,982.78 \text{ lt} = 44.98\text{m}^3$$

4.1.4. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita para la lechuga Iceberg o repollada

Tabla 12. Caracterización del suelo lechuga.

Textura	Franco limosa	
CC	23,8	%
PMP Laboratorio	13,2	%
AU	10,6	%
Da	1,31	gr/cc
MO	2,4	%
Arena	39	%
Limo	50	%
Arcilla	11	%
Z	300	mm
Consumo	25	%
Consumo HUM 25%	5,95	%
Apagado	23,8	%
PMP encendido	17,85	%

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC} - \text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (\text{CC} - \text{PMP}) \text{ Da} * \text{Z}$$

$$\text{Agua Útil} = (0.238 - 0.179) 1.31 * 300\text{mm}$$

$$\text{Agua Útil} = 23.187 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Área de surco mojado} = \text{Longitud surco} * \text{ancho surco}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 50\text{m} * 0.15\text{m}$$

$$\text{Área de surco mojado} = 7.5\text{m}^2$$

$$\text{Número de surcos} = \text{Longitud lado del canal} / \text{ancho lomo y surco}$$

$$\text{Número de surcos} = \frac{58.53\text{m}}{0.55\text{m}}$$

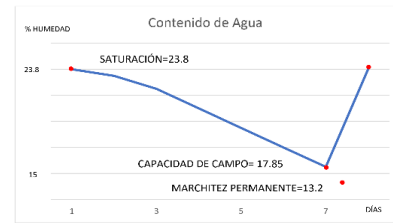


Gráfico 3. Contenido agua arveja.

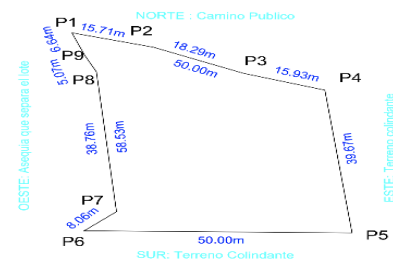


Figura 27. Medidas de surco lechuga.

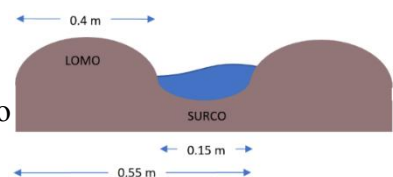


Figura 28. Lomo/ Surco lechuga.

Número de surcos= 106.41 \Rightarrow 106

Área mojada= Número de surcos * área surco

Área mojada = 106 * 7.5m²

Área mojada = 795m²

Agua requerida =Área mojada * Agua Útil

Agua requerida = 795m² * 23.187 $\frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$

Agua requerida = 18,433.66 lt =18.43m³

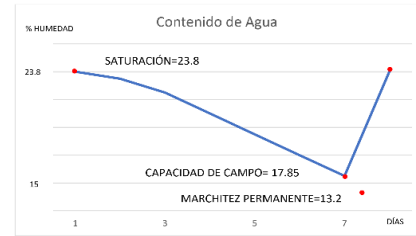


Gráfico 4. Contenido agua lechuga.

4.1.5. Cálculos para saber cuántos litros de agua se necesita para la papa super chola

Tabla 13. Caracterización de suelo papa super chola.

Textura	Franco limosa	
CC	23,8	%
PMP Laboratorio	13,2	%
AU	10,6	%
Da	1,31	gr/cc
MO	2,4	%
Arena	39	%
Limo	50	%
Arcilla	11	%
Z	300	mm
Consumo	25	%
Consumo HUM 25%	5,95	%
Apagado	23,8	%
PMP encendido	17,85	%

Agua Útil = (CC – PMP) Da * Z

Agua Útil = (CC – PMP) Da * Z

Agua Útil = (0.238 – 0.179)1.31 * 300mm

Agua Útil = 23.187 mm \Rightarrow $\frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$

Área de surco mojado=Longitud surco * ancho surco

Área de surco mojado= 50m*0.4m

Área de surco mojado=20m²

Número de surcos=Longitud lado del canal / ancho lomo y surco

Número de surcos = $\frac{58.53\text{m}}{1.2\text{m}}$

Número de surcos= 48.77 \Rightarrow 48

Área mojada= Número de surcos * área surco

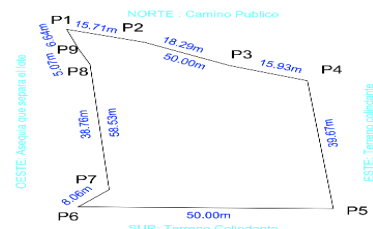


Figura 29. Medidas de surco papa.

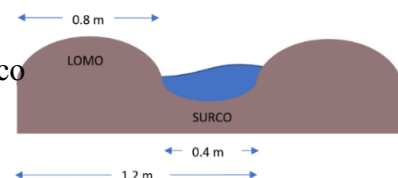


Figura 30. Lomo/ Surco papa.

$$\text{Área mojada} = 48 * 20\text{m}^2$$

$$\text{Área mojada} = 960\text{m}^2$$

$$\text{Agua requerida} = \text{Área mojada} * \text{Agua Útil}$$

$$\text{Agua requerida} = 960\text{m}^2 * 23.187 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Agua requerida} = 22,259.52 \text{ lt} = 22.25\text{m}^3$$

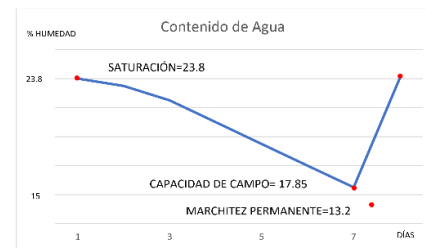


Gráfico 5. Contenido agua papa.

Los cultivos analizados corresponden a la arveja de la variedad quantum, la cebolla colorada variedad burguesa, la lechuga de variedad iceberg o arrepollada y la papa de variedad super chola, cada una de estas tendrán diferente ciclo de cultivo y diferente frecuencia de riego. La arveja de variedad quantum tiene un ciclo de cultivo de 80 a 118 días, con una frecuencia de riego entre 11 y 17 veces[50]. La cebolla colorada de variedad burguesa tiene un ciclo de cultivo entre 145 a 165 días, con una frecuencia de riego entre 21 y 23 veces[51]. La lechuga variedad iceberg o arrepollada tiene un ciclo de cultivo entre 90 a 120 días, con una frecuencia de riego entre 13 y 17 veces[52]. La papa de variedad super chola tiene un ciclo de cultivo entre 120 a 150 días, con una frecuencia de riego entre 17 y 21 veces[53].

4.1.6. Cálculo de litros por segundo que pasan por el canal.

Para este cálculo se coloca un flotador en el centro del canal en el punto A y se lo suelta sin impulsarlo iniciando el tiempo en el cronometro. En el punto B ubicado a 6 metros del punto A se esperará al flotador con un cronometro para detenerlo en su tiempo de llegada justo cuando pase por el punto B y poder medir exactamente el tiempo empleado para el cálculo respectivo como se muestra en la figura 31.

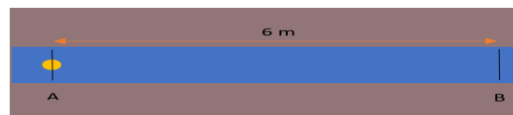


Figura 31. Cálculo de flotador.

Se realizó 12 lecturas como se expresa en la Tabla 14 las cuales se elimina la lectura más alta y la más baja.

Tabla 14. Lectura de tiempo en segundos.

# DE MUESTRAS	LECTURAS DE TIEMPO EN SEGUNDOS	
	DESECHADAS (S)	CONSIDERADAS (S)
1	4,03	
2		4,26
3		4,39
4	4,85	
5		4,26
6		4,4
7		4,73
8		4,59
9		4,07
10		4,52
11		4,84
12		4,14
Sumatoria		44,2
Muestras totales		10
Promedio		4,42

Con estos datos obtenidos se calculará la velocidad de la superficie del agua (V):

$$V = \frac{d}{t}$$

$$V = \frac{6m}{4.42s}$$

$$V = 1.35 \frac{m}{s}$$

Para obtener la velocidad media del agua se lo multiplica por el coeficiente de corrección (0.85).

$$V = 1.35 \frac{m}{s} * 0.85$$

$$V = 1.14 \frac{m}{s}$$

A lo largo de 6 metros se procede a tomar datos de la profundidad y ancho medio como indica en la Tabla 15 y Figura 32.

Tabla 15. Longitud de prueba.

	LONGITUD DE PRUEBA	
	SECCIÓN CANAL (cm)	
	B	H
	29	2,5
	27	3,5
	31	3,5
	21	4
Sumatoria	108	13,5
# De Secciones	4	4
Secciones Promedio	27	3,375

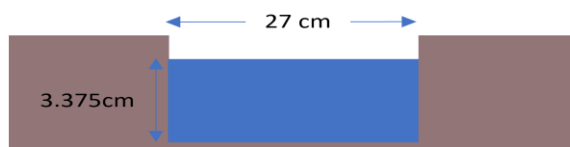


Figura 32. Medidas de caudal.

Para calcular el caudal de agua en m^3 se multiplica la velocidad media del agua en m/s por el ancho medio en m y por la profundidad media en m.

$$\text{Caudal de agua} = 1.14 \frac{m}{s} * 0.27m * 0.03375m$$

$$\text{Caudal de agua} = 0.01038m^3/s$$

Tomando en cuenta que $1 m^3 = 1000 L$, para poder convertir la medida del caudal de agua en litros por segundo L/s.

$$\text{Caudal de agua} = 0.01038m^3/s * 1000L$$

$$\text{Caudal de agua} = 10.38 L/s$$

Para saber cuántos litros de agua tiene el agricultor en sus 8 horas de riego, se pasa de horas a segundo teniendo 28800 segundos.

$$\text{Caudal de agua} = 10.38 \frac{L}{s} * 28800s$$

$$\text{Caudal de agua} = 298,944 L$$

Con el cálculo anterior más los cálculos de agua necesaria para cada cultivo como se enseña la Tabla 16 se puede ver como el sistema optimiza el agua en más del 80%.

Tabla 16. Factibilidad de proyecto.

	Arveja quantum	Cebolla burguesa	Lechuga arrepollada	Papa super chola
Caudal de agua sin control (L)	298,944	298,944	298,944	298,944
Caudal de agua controlada (L)	44,982	22,607	18,433	22,259
OPTIMIZACIÓN DE AGUA (%)	85	92	93,83	92,55

4.2. Análisis

A continuación, para evaluar los resultados alcanzados por la investigación se realizó el análisis cuantitativo-obtenidos en el área de la implementación y también se hace una comparativa frente a los sistemas tradicionales de riego. El prototipo está compuesto por sistemas de comunicación inalámbrica brindando la facilidad de instalación y evitando la obstaculización para el trabajo del agricultor o la maquinaria en el cultivo. Así mismo, se realizó las pruebas de funcionamiento

en cada uno de los nodos verificando el correcto funcionamiento en la recolección de la información y la capacidad de funcionamiento. Además, las pruebas realizadas se representan por diferentes etapas, de esta manera se logra alcanzar con los objetivos planteados en base al problema.

La comunicación inalámbrica entre los dispositivos ZigBee emplea la conectividad de nivel físico con la utilización del estándar IEEE 802.15.4 lo cual permite enviar los datos recolectados de los sensores de humedad dentro de una red. Así mismo, mediante el programa XCTU se puede comprobar la información de lectura de los sensores para comprobar los valores obtenidos, además para establecer los puntos clave en relación a la distancia se realiza la simulación de la señal.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

Culminado el proyecto de investigación se desarrollaron las siguientes conclusiones:

- Habiendo recopilado la información de las áreas de cultivos del sector de Molobog a través de instrumentos de mapeo aéreos, se determinó el lugar de trabajo en base al promedio de las dimensiones de los terrenos existentes en dicho sector.
- Se determinó los dispositivos electrónicos necesarios para la adquisición de las variables físicas en el entorno a través de sensores, así como el dimensionamiento para la implementación del sistema.
- A través de los datos adquiridos y de acuerdo con las dimensiones del área del terreno, se usó 4 sensores de humedad de suelo ubicados de forma estratégica para el control del sistema de riego.
- La tecnología inalámbrica XBee permitió transferir con éxito los datos del nodo sensor hasta el controlador principal a través de la red inalámbrica WSN, la información de datos que se obtuvo representa un alto grado de confiabilidad y velocidad, evitando la pérdida y el retraso de los datos recopilados.
- Habiendo recopilado la información de los diferentes productos llegamos a la conclusión que el sistema ha sido efectivo en el consumo de agua, ya que en comparación entre el caudal de agua sin control y un caudal de agua controlada se pudo obtener los siguientes resultados: con la arveja se optimizó el 85% de agua, con la cebolla se optimizó el 92% de agua, la lechuga arrepollada se optimizó el 93,83% de agua, la papa super chola se optimizó el 92,55% de agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar las simulaciones necesarias del circuito controlador para comprobar su respectivo funcionamiento al ser implementado en campo.
- Mantener y verificar las señales de los dispositivos de comunicación, además de chequear el saldo de la telefonía móvil del chip que se utiliza para conexión. Con esto se podrá controlar efectivamente el sistema.
- Calibrar los sensores mediante varias pruebas en campo para tener un funcionamiento óptimo del sistema y evitar consumos excesivos de agua.
- Controlar las tensiones de voltaje con un regulador para proteger cada uno de los componentes del sistema de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] Fao, “Tecnologías para el Uso Sostenible del Agua, Tegucigalpa,” 2015.
- [2] M. T. FLORES VÁSQUEZ, “Recursos Hídricos y la Producción Agrícola de Papa,” Lima, 2018.
- [3] V. Villalobos Arámbula, M. García, and F. Ávila, “El Agua para la Agricultura de las Américas,” IICA, vol. 1, 2017.
- [4] UNESCO, “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.,” Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, p. 215, 2019.
- [5] Fao, “Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe,” 2014.
- [6] D. Gauna, “Agendas de innovación en la agricultura 4.0,” vol. 4, 2014.
- [7] Banco de Desarrollo de América Latina, “Medidas para proteger las fuentes de agua de América Latina | CAF,” Caracas, Jan. 2018.
- [8] Dirección General de Gestión Ambiental, “Ordenanza para "La Conservación y Restauración del Ecosistema Páramo y Bosque de la Provincia de Chimborazo,” Riobamba, 2019.
- [9] L. Chagerben, N. Moreno, and W. Chagerben, “El crédito Productivo y su Incidencia en la Producción Agrícola del Ecuador,” Estudios de la Gestión: revista internacional de administración, no. 6, pp. 11–36, Feb. 2019, doi: 10.32719/25506641.2019.6.1.
- [10] Banco Central del Ecuador, “Ecuador y los Acuerdo Comerciales,” Quito, Jun. 2019.
- [11] Asamblea Nacional, “Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales,” Quito, Mar. 2016.
- [12] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Plan de Trabajo Institucional,” Quito, 2019.
- [13] J. E. Bolaños Morales, “Evaluación de la estrategia hombro a hombro como una contribución a la seguridad alimentaria e ingresos en la población de la parroquia Imantag, cantón Cotacachi,” Ibarra, 2019. Accessed: Sep. 22, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9779>
- [14] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “En Chimborazo: Unidades de Asistencia Técnica Rural del MAGAP atienden a productores, durante las 24 horas – Ministerio de Agricultura y Ganadería,” Quito, 2019.

- [15] Andina Biosph J Selva, “El agua y las consecuencias que esta genera en la agricultura y el medio ambiente,” *Journal of the Selva Andina Biosphere*, Bolivia, pp. 1–3, May 01, 2017. Accessed: Sep. 22, 2021. [Online]. Available: <https://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/Factsheets/Water-Spanish.pdf>.
- [16] Fao, “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Ecuador en una mirada | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,” Roma, 2021. Accessed: Sep. 22, 2021. [Online]. Available: <http://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- [17] N. Castillo, X. Cuesta, and K. Orbe, “El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador: Tecnología de producción y manejo de semillas,” VII Congreso Ecuatoriano de la Papa, pp. 23–26, Jun. 2017, Accessed: Sep. 22, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/432/4/iniapsct32.pdf>
- [18] E. Rodrigo and B. Morales, “Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador,” Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, no. 1, Jun. 2015, Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: www.repositorio.espe.edu.ec.
- [19] F. H. Montesdeoca Montesdeoca and V. A. Moreno Sanguña, “Validación del protocolo de control interno de calidad para la producción de semilla de quinua variedad (INIAP-Tunkahuan), bajo dos tipos de fertilización, CADET, 2015.,” Quito: UCE, Quito, 2016. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7987>
- [20] Q. (Ecuador) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, *Manual agrícola de los principales cultivos del Ecuador*. Quito: INIAP, 2017. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://bibliotecasdelecuador.com/Record/ir-:41000-4029>
- [21] A. J. Fierro Chacón, “Diseño e implementación de un sistema de irrigación inteligente en la Hacienda Cochicharanqui ubicada en el cantón Ibarra,” Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control., Sangolquí, 2018. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14068>

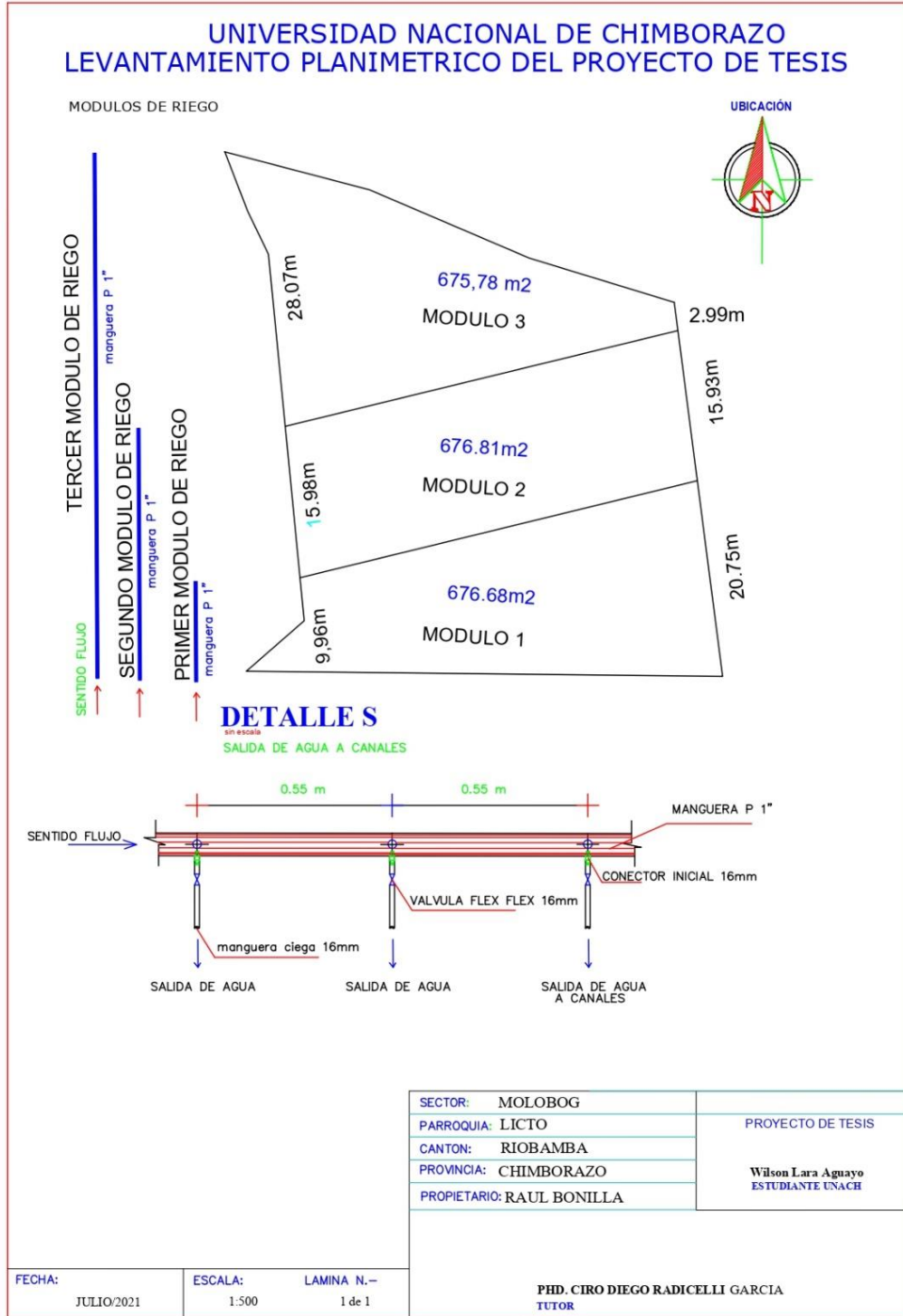
- [22] E.C.; Martin and C. Muñoz, “Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo? Item Type text; Book,” Arizona, 2017. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10150/625275>
- [23] M. E. Tirado Gavilanes, “RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUERO,” Ambato, 2015.
- [24] D. F. Alejandro Orellana, “Diseño e Implementación de Sistema de Riego Automatizado por Microaspersión con Control Remoto gsm sms y arduino para las Áreas Verdes y Plantas Ornamentales,” Riobamba, 2019.
- [25] C. Silva and J. Antonio, “Sistema de Riego Autónomo Basado en la Internet de las Cosas,” Neiva, 2016.
- [26] Unach, “Diseño e Implementación de un sistema autónomo para el monitoreo de variable ambientales basado en redes de sensores, que permita cuantificar el recurso agua, de la provincia de Chimborazo en colaboración con la Dirección de Riego del GAD Provincial,” Riobamba, 2020. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <https://www.unach.edu.ec/images/galeriajulio/convenioslibros/nacionales/2021/3.marzo/convenio%20entre%20gad%20provincial%20y%20Unach.pdf>
- [27] H. Miranda Ruiz, “Diseño y Construcción de un Prototipo para Control y Monitoreo de Reservorios de Agua Empleando Comunicación Móvil gsm/gprs en Sistemas de Riego,” Quito, 2015. Accessed: Sep. 23, 2021.
- [28] E. García and F. Flego, “Agricultura de Precisión,” Buenos Aires, 2016.
- [29] A. M. Vela Velasco, “Estudio de la agricultura de precisión enfocado en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura en cultivos – caso de estudio hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de Los Ríos,” PUCE, Quito, 2016. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/11112>
- [30] D. Al. Saldarriaga Catillo, “Diseño y Simulación de un Módulo para el Aprendizaje de Sistemas Electroneumáticos,” Piura, 2015. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/511/CIE-SAL-CAS-15.pdf?sequence=1>

- [31] P. G. Fuentes Espinoza, “Estudio de una red de sensores inalámbricos con tecnología Wi-Fi y radiofrecuencia, aplicado a un sistema de control domótico inteligente distribuido,” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2018. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10168>
- [32] Digi, “Digi XBee RF Modules,” 2021. <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/rf-modules> (accessed Sep. 23, 2021).
- [33] Digi, “XBee Shield Comunicación Inalámbrica para Tus Proyectos,” 2021. <https://xbee.cl/xbee-shield/> (accessed Sep. 23, 2021).
- [34] Macatronica, “Adaptador XBEE Explorer USB,” 2021. <https://www.mactronica.com.co/adaptador-xbee-explorer-usb> (accessed Sep. 23, 2021).
- [35] Arduino, “Arduino UNO,” 2021. <https://arduino.cl/arduino-uno/> (accessed Sep. 23, 2021).
- [36] de Sensores, “Sensor de humedad de suelo YL69 para Arduino,” 2019. <https://desensores.com/sensores-arduino/tipos-de-sensores-arduino/sensor-de-humedad-de-suelo-yl69-para-arduino/> (accessed Sep. 23, 2021).
- [37] Smart Machine Smart Decision, “SIM800L Hardware Design v100,” 2020. https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf (accessed Sep. 23, 2021).
- [38] Vishay Intertechnology, “LCD 20*4 + Módulo I2C,” 2021. <https://www.vishay.com/> (accessed Sep. 23, 2021).
- [39] GM Electronic, “Modul RTC, I2C and 32kb flash ZS-042 / DS3231 | GM electronic COM,” 2021. <https://www.gmelectronic.com/modul-rtc-ds323-i2c-and-32kb-flash> (accessed Sep. 23, 2021).
- [40] Bateríadelitiorecargable, “Batería Litio y Titanio 12v 30ah recargable,” 2021. <https://www.bateriadelitiorecargable.com/es/baterias-litio-y-titanio-lto-12v/788-bateria-litio-y-titanio-12v-30ah-recargable.html> (accessed Sep. 23, 2021).
- [41] ElectroCrea, “12v 3W Panel solar 145x145mm,” 2021. <https://electrocrea.com/products/panel-solar-12v-3w> (accessed Sep. 23, 2021).
- [42] Naylamp, “Módulo Cargador de batería litio TP4056 con protección micro-USB,” 2021. <https://naylampmechatronics.com/baterias/641-cargador-de-bateria-litio-tp4056-con-proteccion-micro-usb.html> (accessed Sep. 23, 2021).

- [43] Arbutotics, “PFM Control DC-DC 0.9V-5V To USB 5V Module,” 2021. <https://ardubotics.eu/en/power-systems/1648-chipskey-pfm-control-dc-dc-09v-5v-to-usb-5v-boost-step-up-power-supply-module.html> (accessed Sep. 23, 2021).
- [44] Ecotality, “10 Best Solar Charge Controllers in 2021,” 2021. <https://ecotality.com/best-solar-charge-controllers/> (accessed Sep. 23, 2021).
- [45] Coelectrix, “Inversor de corriente, que es y como elegir el que necesitas,” 2021. <https://coelectrix.com/inversor-de-corriente> (accessed Sep. 23, 2021).
- [46] M. Guadalupe Miranda-Novales and M. Ángel Villasís-Keever, “El protocolo de investigación IV: las variables de estudio,” *Rev Alerg Mex*, vol. 63, no. 3, pp. 303–310, 2016, Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://www.revistaalergia.mx>
- [47] R. E. Contreras Velásquez, “Agricultura de precisión en el manejo agronómico del cultivo de maíz,” Babahoyo, 2020. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8487/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000281.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [48] Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo,” Riobamba, 2015.
- [49] H. P. Paoli, “MEJORA RIEGO POR SUPERFICIE ¿ES POSIBLE?,” Buenos Aires, Aug. 2018.
- [50] S. Daniel and M. Jiménez, “Duración de las Etapas Fenológicas y Profundidad Radicular en Cultivo de Arveja (*Pisum Sativum* L.),” Cevallos, 2015.
- [51] P. M. Donoso Burgos, “Estudio de adaptación y evaluación agronómica de cuatro híbridos de cebolla roja (*Allium cepa* L.) con manejo sustentable en la provincia de Santa Elena,” Espol, Guayaquil, 2015. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/29874>
- [52] J. W. Tapia Larreta, “Producción con tres variedades de lechuga *Lactuca sativa* L., en dos sistemas hidropónicos,” Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2016. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/14085>
- [53] H. S. Mafla Rosales, “Formas de Obtención de Semilla de Papa Súper Chola en el Sector de la Purificación, Cantón Huaca,” *El Ángel*, 2019. Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7189/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1. Salida de Módulos



Anexo 3. Calibración de sensores



Anexo 4. Medición de la capacidad de infiltración



Anexo 5. Medición de la compactación de suelo



Anexo 6. Medida porcentaje de humedad



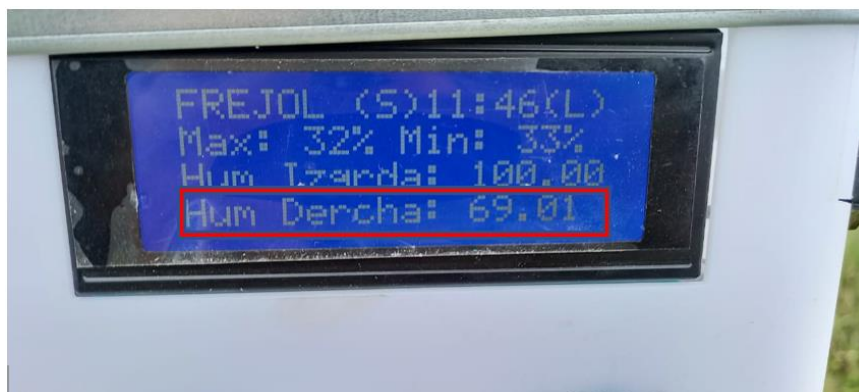
Anexo 7. Regado de agua y cultivo



Anexo 8. Instalación de sensores



Anexo 9. Valores de apertura y cierre de válvulas.

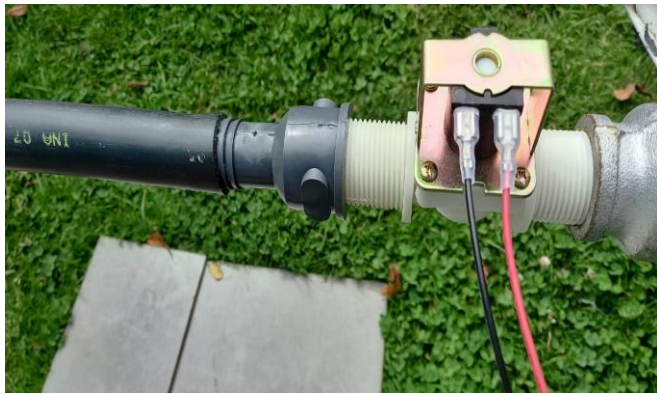


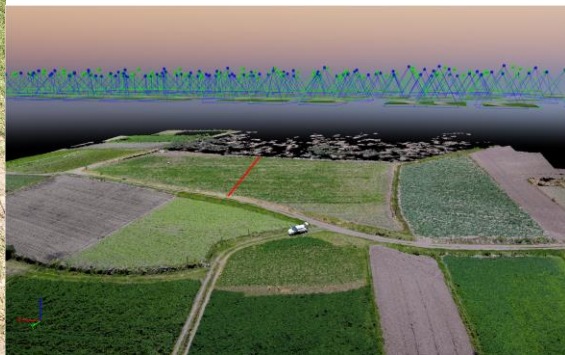
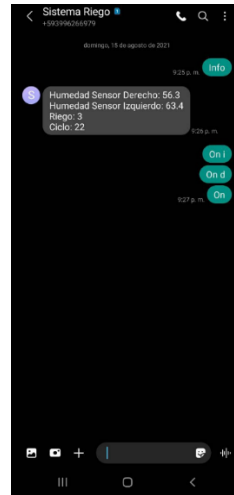
Anexo 10. Sistema de riego



Anexo 11. Pruebas de funcionamiento







Anexo 13. Entrevistas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a los moradores del sector Molobog vía a la Parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo

Tema: Diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, para la optimización del agua de riego del cantón Chambo.

Fecha: 31/05/2021

Nombre: Jose Luis Buñay

Dirección: Molobog

Objetivo: Obtener información acerca del sistema de riego utilizado actualmente en el sector Molobog vía a la parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo, a fin de contrastarlo con una propuesta de implementación de un sistema de agricultura de precisión.

1. ¿Podría mencionar el tipo de riego que usted utiliza actualmente y cuál es la fuente de agua que ocupa?

Riego por SURCOS, canal de riego

2. ¿Qué tal le parece el método actual de riego del que dispone?

No es muy adecuado

3. ¿Qué tipo de problemas se ha presentado con el método de riego que dispone en la actualidad?

Pérdida de cosecha, poca producción



4. ¿Considera que un sistema automatizado de riego le puede brindar mayor optimización de los recursos? En caso de tener una respuesta afirmativa, podría contarme ¿cuáles recursos?

Claro, el agua se controlaría de mejor manera

5. ¿Piensa que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema automatizado de riego que permita la optimización del consumo de agua y la cantidad de tiempo empleado?

Sí, porque me beneficiaría

Si la pregunta 5 es afirmativa:

¿Qué cantidad estaría dispuesto a invertir para contar con un sistema automatizado de riego?

- a) Entre 500 y 1000 USD
- b) Entre 1000 y 2000 USD
- c) Entre 2000 y 3000 USD
- d) Más de 3000 USD

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Entrevista dirigida a los moradores del sector Molobog vía a la Parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo

Tema: Diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión, para la optimización del agua de riego del cantón Chambo.

Fecha: 31 de Mayo del 2021

Nombre: Raul Bonilla

Dirección: Sector Molobog

Objetivo: Obtener información acerca del sistema de riego utilizado actualmente en el sector Molobog vía a la parroquia San Pedro de Licto en el cantón Chambo, a fin de contrastarlo con una propuesta de implementación de un sistema de agricultura de precisión.

1. ¿Podría mencionar el tipo de riego que usted utiliza actualmente y cuál es la fuente de agua que ocupa?

Riego por gravedad, agua de riego por cana abierta

2. ¿Qué tal le parece el método actual de riego del que dispone?

Es poco eficiente

3. ¿Qué tipo de problemas se ha presentado con el método de riego que dispone en la actualidad?

Se pudre las plantas, poca cosecha



4. ¿Considera que un sistema automatizado de riego le puede brindar mayor optimización de los recursos? En caso de tener una respuesta afirmativa, podría contarme ¿cuáles recursos?

Si, el agua no se desperdiciaría, tiempo y dinero
para controlar

5. ¿Piensa que está en la capacidad económica de invertir en la instalación de un sistema automatizado de riego que permita la optimización del consumo de agua y la cantidad de tiempo empleado?

Si

Si la pregunta 5 es afirmativa:

¿Qué cantidad estaría dispuesto a invertir para contar con un sistema automatizado de riego?

- a) Entre 500 y 1000 USD
- b) Entre 1000 y 2000 USD
- c) Entre 2000 y 3000 USD
- d) Más de 3000 USD

{GRACIAS POR SU COLABORACIÓN }