

---

# **DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO EN CARPAS SOLARES DEL ALTIPLANO BOLIVIANO**

---

## **Trabajo Fin de Grado**

### **Alumno:**

Javier Castelló Corvillo

### **Directores:**

Dr. D. José Emilio Guerrero Ginel

Ing. D. José Antonio Adame Siles

Universidad de Córdoba

Departamento de Producción Animal

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

*A mi tío, Patricio Corvillo Rodríguez.*

## **Agradecimientos**

*Aprovecho estas líneas para agradecer a todas aquellas personas que han formado parte de este proyecto y que han hecho de él, una experiencia única que sin duda recordaré durante el resto de mi vida.*

*Quiero comenzar agradeciendo, como no, a mis padres, Vicente y María a mi hermana María por haberme educado en el respeto, el trabajo y el esfuerzo como herramientas fundamentales de vida, a vosotros os lo debo todo. Gracias por apoyarme siempre y confiar en mí, sois mi ejemplo a seguir.*

*A Mayte, Coordinadora del Plan Propio de Cooperación y a todos los trabajadores del Area de Cooperación y Solidaridad de la Universidad de Córdoba, por su encomiable labor. A Rafael Calatayud, responsable del Área de Cooperación de la Fundación PRODEAN, por confiar en mí y darme la oportunidad de vivir la mejor experiencia de mi vida. A todos los trabajadores de la Asociación Civil Ayni, en especial al Ing. José, Ing. Willy, Don Walter y Doña Leti, que desde el primer día me trataron como a un hijo y a los que estaré eternamente agradecido.*

*A todos los profesores que conforman la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de la Universidad Córdoba que durante estos años han contribuido a mi formación, en especial a mis directores Dr. D. José Emilio Guerrero Ginel e Ing. D. José Antonio Adame Siles por guiarme y ayudarme en los momentos de duda y cierta desesperación.*

*Por último, a todos mis compañeros de promoción y en especial a mi amigo Enrique Bescansa, con el que he tenido la gran fortuna de compartir esta increíble experiencia en el nuevo continente.*

*Mis mayores agradecimientos hacia todos vosotros.*

*Javier Castelló Corvillo.*

# Índice de Contenido

<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>v</b>
<b>Índice de Ilustraciones.....</b>	<b>vi</b>
<b>Tabla de Acrónimos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>viii</b>
<b>Abstract. ....</b>	<b>ix</b>
<b>Capítulo 1. Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2. Introducción. ....</b>	<b>4</b>
2.1 El agua, un recurso escaso. El caso del Altiplano Boliviano.....	6
2.1.1 Escasez de agua. ....	6
2.1.2 El agua y la agricultura. ....	8
2.2 El Proyecto de la Asociación Civil Ayni. ....	11
2.2.1 Localización.....	11
2.2.2 Comunidades. ....	12
2.2.3 Carpas solares. ....	13
2.2.4 Sistema actual de riego por goteo .....	18
<b>Capítulo 3. Objetivos.....</b>	<b>19</b>
3.1 Objetivo general del proyecto.....	20
3.2 Objetivos específicos del proyecto. ....	20
<b>Capítulo 4. Estado del Arte.....</b>	<b>21</b>
4.1 Agricultura 4.0 y el Internet de las Cosas.....	22
4.2 Arduino.....	23
4.3 Sistemas de Riego Automatizados.....	24
<b>Capítulo 5. Material y Métodos.....</b>	<b>28</b>
5.1 Elementos Hardware.....	29
5.2 Desarrollo Software. ....	35
<b>Capítulo 6. Resultados y Discusión. ....</b>	<b>37</b>
6.1 Funcionamiento del Prototipo.....	38
6.2 App Movil.....	40
6.3 Suministro eléctrico .....	41
<b>Capítulo 7. Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo 8. Recomendaciones de Futuro. ....</b>	<b>47</b>

<b>Bibliografía Referenciada.</b> .....	<b>52</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>54</b>
Anexo Valoración Económica. ....	55
Anexo Distribución Pines. ....	57
Anexo Fotográfico. ....	59
Anexo Códigos .....	66
Módulos Remotos Node MCU. ....	66
Módulo Central. ....	70

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Comunidades en las que se desarrolla el proyecto. ....	12
Tabla 2. Etapas del proceso constructivo de las carpas solares tipo semitúnel. .	15
Tabla 3. Temperatura en las carpas para el cultivo de lechuga [14].....	17
Tabla 4. Características técnicas Node Mcu ESP8266. ....	29
Tabla 5. Pines DHT22 .....	31
Tabla 6. Características sensor SKU:SEN0114 .....	31
Tabla 7. Pines SKU SEN0114. ....	31
Tabla 8. Pines módulo Micro SD. ....	32
Tabla 9. Pines módulo relé. ....	34
Tabla 10. Valoración económica prototipo. Módulos Remotos .....	55
Tabla 11. Valoración económica prototipo. Módulo Central. ....	56
Tabla 12. Pines utilizados en Módulos Remotos Node Mcu. ....	58
Tabla 13. Pines utilizados en Módulo Central Node Mcu .....	58

## Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Distribución mundial de la escasez física de agua.....	6
Ilustración 2. Ubicación del Altiplano Boliviano en América del Sur. ....	7
Ilustración 3. Mapa de precipitaciones medias anuales. ....	7
Ilustración 4. Principales sistemas agrícolas del mundo. ....	9
Ilustración 5. Provincia de Murillo, Departamento de La Paz, Bolivia.....	11
Ilustración 6. Esquema de comunicación tipo Client-Server, Nodes Mcu. ....	26
Ilustración 7. Node Mcu (ESP12E) .....	29
Ilustración 8. Distribución de pines sensor DHT22.....	31
Ilustración 9. Sensor SKU:SEN0114.....	31
Ilustración 10. Módulo Micro SD.....	32
Ilustración 11. Componentes principales de una electroválvula. ....	33
Ilustración 12. Módulo Relé. ....	34
Ilustración 13. Especificaciones Arduino IDE para Node Mcu .....	35
Ilustración 14. Diagrama de funcionamiento del sistema.....	39
Ilustración 15. Combinación Electroválvula y Válvula Manual. ....	40
Ilustración 16. Captura de pantalla App Carpa Solar. ....	41
Ilustración 17. Código descarga aplicación móvil.....	41
Ilustración 18. Esquema de conexiones Módulo Central. ....	42
Ilustración 19. Esquema de Conexiones Módulo Remoto.....	43
Ilustración 20. Esquema de conexiones Módulo Central prueba. ....	44
Ilustración 21. Versión 1.0 Módulo Remoto funcional. ....	44
Ilustración 22. Distribución de pines Node Mcu ESP8266. ....	57

## Tabla de Acrónimos.

1. **m.s.n.m.:** Metros sobre el nivel del mar.
2. **km.:** Kilómetros.
3. **mm :** Milímetro.
4. **dm<sup>3</sup>:** Decímetro cúbicos.
5. **VCC:** “Voltaje” Alimentación positiva del circuito.
6. **GND:** “Ground” Alimentación negativa del circuito.
7. **FAO:** Food and Agriculture Organization of the United Nations.
8. **TIC’s:** Tecnologías de la Información y la Comunicación.
9. **WWW:** World Wide Web.
10. **RFID:** Radio Frequency Identification.
11. **ERP:** Enterprise Resource Planning.
12. **LED:** Light-Emitting Diode.
13. **ONG:** Organización No Gubernamental.
14. **UE:** Unión Europea.
15. **AIOTI:** Alliance for the Internet of Things Innovation.
16. **LPWA:** Low Power Wide Areas.
17. **UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
18. **WiMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access.



## Resumen.

El crecimiento exponencial de la población durante las últimas décadas sumado a un desarrollo económico desigual, ha desembocado en un escenario global de escasez de agua. Ligado a ello, se encuentra la inherente problemática que dicha escasez acarrea sobre la agricultura y la seguridad alimentaria. En regiones con un escaso nivel de desarrollo, el problema se agrava. Algunos territorios del Estado Plurinacional de Bolivia son ejemplo de ello.

Este proyecto se centra en el desarrollo de un prototipo para la automatización de la operación de riego por goteo en carpas solares destinadas al cultivo de hortalizas, localizadas en comunidades aymaras del Altiplano Boliviano. Aprovechando el importante desarrollo de la tecnología bajo el paraguas del Internet de las Cosas (IoT), con la miniaturización de la electrónica y la conectividad inalámbrica como dos emblemas destacados, el trabajo persigue sobre todo tecnificar y ganar eficiencia en el manejo de los escasos recursos hídricos de la zona, así como poder efectuar una monitorización de parámetros fundamentales en tiempo real para dar soporte a la toma de decisiones.

El desarrollo del prototipo es modular, apoyándose en la plataforma electrónica abierta Arduino, una plataforma destinada a la implementación de proyectos de hardware y software abiertos y de bajo coste, lo que la hace especialmente indicada para este trabajo. En el presente documento se contempla tanto el montaje y conexión de las diferentes partes hardware, como la programación de los distintos módulos y su integración para hacer que el conjunto sea operativo.

**Palabras Clave:** Altiplano Boliviano, Riego por goteo, Automatización, Arduino, Código abierto.

## **Abstract.**

The exponential growth of world population over the last decades along with an unequal economical development has led to a global scenario of water scarcity. Linked to that, such scarcity causes issues both in agriculture and food security. In developing regions with scarce resources, the problem becomes worse. Some territories of the Plurinational State of Bolivia are an example of this.

This project focuses on the development of a prototype capable of automating the drip irrigation process in greenhouses dedicated to the cultivation of vegetables, located in aymara communities of the Bolivian Plateau. Taking advantage of the recent technological developments under the Internet of Things (IoT) concept, with the miniaturization of electronics components and wireless connectivity as two fundamental cornerstones, the project pursues to upgrade present technology at those greenhouses and gain efficiency in the use of the scarce water resources, as well as carrying out a real time monitoring of fundamental parameters for decision making.

The design of the prototype is modular, supported by Arduino, an open source platform intended for the implementation of low cost hardware and software projects, which makes it especially interesting for this project. The present document contemplates both the assembly and connection of the different hardware components and the programming needed for making the set of components operative.

**Keywords:** Bolivian Plateau, Drip Irrigation, Automation, Arduino, Open source.

## **Capítulo 1. Antecedentes.**

Durante los meses de septiembre a diciembre del año 2017, tuve la oportunidad de participar como voluntario en uno de los proyectos de desarrollo rural que la **Asociación Civil AYNI (Bolivia)**, junto con la **Fundación PRODEAN (España)**, desarrolla en un total de 10 comunidades rurales del Altiplano Boliviano. Todo ello fue posible gracias a una ayuda financiada dentro del “*Plan Propio de Cooperación y Solidaridad*”, impulsado por el **Área de Cooperación y Solidaridad, de la Universidad de Córdoba**.

Es importante resaltar que la acción conjunta de estas **tres instituciones** y el buen hacer de sus trabajadores han hecho que este proyecto se pueda materializar. A continuación se presenta alguna información de interés acerca de las instituciones anteriormente mencionadas, con el objetivo de llegar a conocer la justificación del conjunto del proyecto.

### **Área de Cooperación y Solidaridad, Universidad de Córdoba.**

El Área de Cooperación y Solidaridad de la Universidad de Córdoba, oferta cada año, a través del “*Plan Propio de Cooperación y Solidaridad*”, ([www.uco.es/rsu/cooperacion/](http://www.uco.es/rsu/cooperacion/)), un número limitado de becas que pretenden fomentar la movilidad internacional dentro del ámbito universitario. Dicho plan consta de tres modalidades, estando la tercera de ellas específicamente destinada a **financiar estancias de estudiantes que deseen realizar su Trabajo Fin de Grado/Máster** dentro del ámbito de la cooperación y el desarrollo en países destinatarios de Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD).

Los trabajos realizados deberán servir de **apoyo para la ejecución de proyectos** llevados a cabo por organizaciones y colectivos ligados al ámbito de la cooperación y el desarrollo en el país de destino (Bolivia). Deberán además arrojar resultados que sirvan de **diagnóstico** a cerca de la **realidad socio-económica** de las poblaciones con las que se interactúe, suponiendo en mayor o menor medida una mejora con respecto a la situación inicial.

### **Fundación PRODEAN.**



Fundada en Sevilla en el año 1990, la Fundación PRODEAN ([www.fundacionprodean.org](http://www.fundacionprodean.org)), nace como una institución privada sin ánimo de lucro, con el objetivo de construir una **cultura de solidaridad** al servicio de la persona. Para ello propone ejes fundamentales en todas sus acciones; mejorar el **desarrollo integral** de cada individuo, sensibilizar a la ciudadanía en inquietudes sociales, promocionar el voluntariado y convocar al mayor número de personas en torno a **proyectos de carácter asistencial**.

Concebida en sus inicios como una entidad de acción local, la Fundación PRODEAN cuenta hoy día con una importante presencia dentro del ámbito de la Cooperación Internacional. Con más de **50 proyectos** en marcha, actualmente está presente en más de **15 países** de África, Asia y América del Sur, siendo el Estado Plurinacional de Bolivia uno de los países donde más experiencia acumula.

### Asociación Civil AYNI



La Asociación Civil AYNI ([www.ayni.org.bo](http://www.ayni.org.bo)), es una ONG boliviana, entidad sin fines de lucro, fundada el 25 de junio de 1998 por un grupo de jóvenes profesionales comprometidos con la mejora de la situación de los productores rurales de Bolivia.

Su misión se centra en conseguir resultados a partir de la intervención en comunidades con el objetivo de **generar competencias** en las poblaciones destinataria, de manera que toda acción sea **sostenible** en el tiempo más allá de la propia intervención de AYNI.

AYNI interviene en la comunidad, desde la misma comunidad, todo aporte realizado requiere de una contraparte de la comunidad que en general se expresa en mano de obra, materiales de construcción, participación de eventos de capacitación, seguimiento y en algunos casos aporte económico gestionado por las comunidades u otros entes como las Municipalidades o la Gobernación de La Paz.

**Mi actividad** durante esos meses se centró en **conocer, comprender y analizar** de primera mano la forma de trabajar de la Asociación Civil AYNI en el **desarrollo** de sus **proyectos locales**, siempre con la meta de poder **aportar** alguna **innovación o mejora**.

Es en **este escenario** concreto, es donde surge la idea de **diseñar y desarrollar** un prototipo que permitiese la **automatización del riego** por goteo ya existente en las carpas solares. Para ello se usarían plataformas de código abierto de uso libre y bajo coste (Arduino).

Con esta actuación se posibilitaría una **mayor tecnificación** ligada al **manejo** de los escasos **recursos hídricos** de la zona e incrementar el nivel de información sobre las condiciones del cultivo para ayudar a la **toma de decisiones**.

## **Capítulo 2. Introducción.**

En el último siglo, la cantidad de **agua utilizada** por los seres humanos, ha **aumentado** en una tasa dos veces superior a la del crecimiento de la población [1]. Al mismo tiempo, y como consecuencia de lo anterior, un número creciente de regiones alrededor de todo el mundo están llegando a una **situación límite** [2]. Llevar a cabo un **manejo sostenible** de los **recursos hídricos** resulta una tarea difícil de abordar. Este hecho se acentúa de forma evidente en las zonas más áridas del planeta.

En las regiones donde el nivel de **desarrollo** es **bajo**, la magnitud del problema hace necesario tomar **medidas** de efecto **rápido y eficiente**. El Estado Plurinacional de **Bolivia** es un ejemplo de ello.

En un país donde el **37%** de la población vive y desarrolla su actividad profesional en un entorno **rural** [4], la deforestación y el cambio climático amenazan con erradicar poblaciones herederas de culturas ancestrales. Un caso especialmente delicado es el de las comunidades pertenecientes a la **cultura Aymara**, que aunque durante años han subsistido en las vastas y desoladas tierras de la Cordillera de los Andes, ahora ven amenazada su forma tradicional de vida.

Al mismo tiempo, al desarrollo de **nuevas tecnologías** ligadas a las comunicaciones, la toma de datos y al Internet de las Cosas (IoT) ha posibilitado que hoy día el sector agrario se encuentre sumido en un proceso de **cambio radical**, dirigido a una reestructuración de la cadena productiva, con el objetivo fundamental de realizar una **gestión más eficiente** de los recursos disponibles.

La mayoría de estas nuevas tecnologías tienen costos, por ahora, elevados y requieren de una serie de exigencias mínimas en cuanto a conectividad, suministro energético, etc. Estos hechos hacen que su uso se vea restringido a ciertas regiones normalmente ligadas a estados económicamente desarrollados, se crea por tanto una cierta **desigualdad** entre diferentes regiones agrícolas del planeta dependiendo de su **grado de tecnificación**.

Este proyecto pretende, mediante el uso de estas nuevas tecnologías, crear un prototipo que permita aumentar el nivel de tecnificación de las carpas solares destinadas al cultivo de hortalizas localizadas en el altiplano boliviano. Se pretende así conseguir una **mayor tecnificación** ligada al **manejo** de los escasos **recursos hídricos** de la zona e al mismo tiempo que se incrementa el nivel de información sobre las condiciones del cultivo para ayudar a la **toma de decisiones**.

## 2.1 El agua, un recurso escaso. El caso del Altiplano Boliviano.

La intervención de los seres humanos, sobre todo en los últimos 50 años, ha trastocado el **ciclo hídrico** y con ello el equilibrio del planeta, comprometiendo así nuestra propia supervivencia y la del entorno que nos rodea. Este **desequilibrio** ha generado en términos globales, una situación de escasez de agua, en la que mientras la demanda no para de crecer, la cantidad de agua disponible es cada vez menor debido principalmente a la contaminación.

### 2.1.1 Escasez de agua.

En términos general, la escasez de agua apta para el consumo humano, va en **aumento** en todo el planeta. En zonas donde, hasta la fecha no se habían producido situaciones críticas ligadas a la falta de agua, están comenzando a aparecer síntomas de escasez de recursos hídricos. Como es de suponer, la situación es aún más alarmante en aquellas zonas geográficas donde la disponibilidad de este recurso es, ya de por sí, muy limitada.

Si observamos el mapa de la distribución de la escasez física de agua en el mundo (Ilustración 1), nos percatamos de inmediato de que la escasez de agua está claramente ligada a zonas geográficas muy concretas. En las regiones situadas por encima de los Trópicos de Cáncer Cercano (Oriente, África del Norte, Oeste de EEUU, etc.) y por debajo del Trópico de Capricornio (África del Sur, Australia, Cordillera Andina, etc.), la escasez física de agua es por lo general alta.

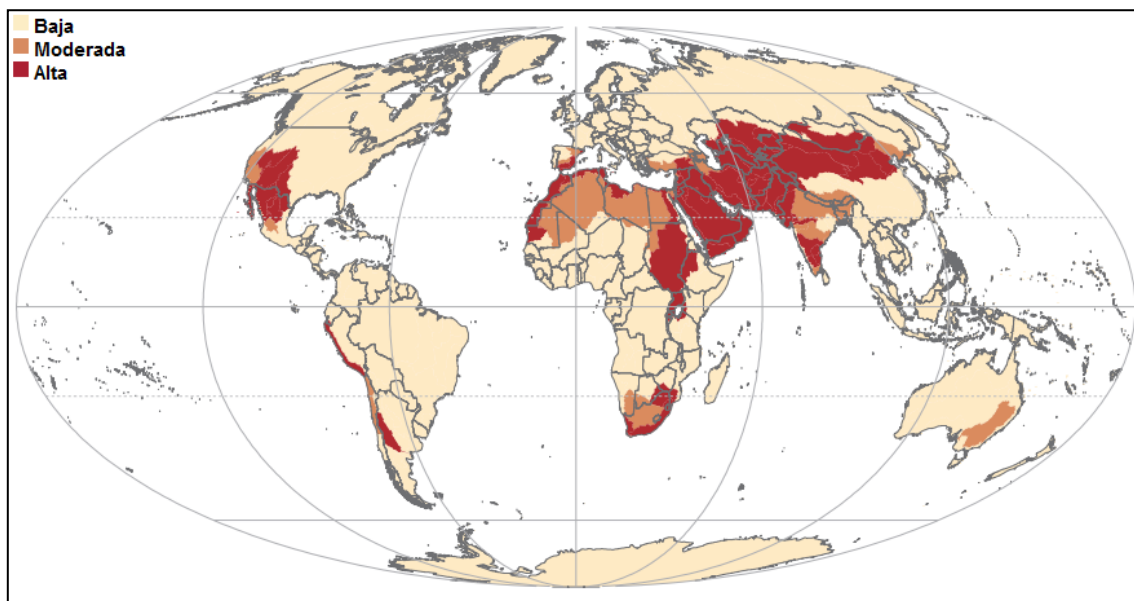


Ilustración 1. Distribución mundial de la escasez física de agua.

Fuente: Estado y tendencias de los recursos de tierras y aguas, FAO, 2011



Una de las regiones con un **nivel alto de escasez** física de agua se corresponde con la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes, que discurre a lo largo de América del Sur desde Perú hasta Chile pasando por Bolivia y Argentina. Se trata del **Altiplano Boliviano**, lugar donde se desarrolla el proyecto.

Con una altura promedio de 3.800 m.s.n.m. el Altiplano Boliviano, también conocido como Altiplano del Titicaca, es una vasta planicie que se extiende a lo largo de la Cordillera Andina a su paso por el Estado Plurinacional de Bolivia. Cuna de culturas milenarias como la Tiahuanacota o la Aymara, esta extensión geográfica destaca por sus **duras condiciones climatológicas, morfológicas y geológicas**.

Barrido por fuertes vientos durante la mayoría de los meses del año, posee un clima árido-frío, con temperaturas que rondan los 15-20 °C durante el día, descendiendo drásticamente durante la noche hasta alcanzar en los meses más fríos valores negativos. La presencia de dos cuencas endorreicas, la del Titicaca-Desaguadero-Poopó-Coipasa y la cuenca del Salar de Uyuni ejercen una acción moderadora sobre el clima aunque las heladas son frecuentes durante todo el año.



Ilustración 2. Ubicación del Altiplano Boliviano en América del Sur.

Fuente: Wikipedia.

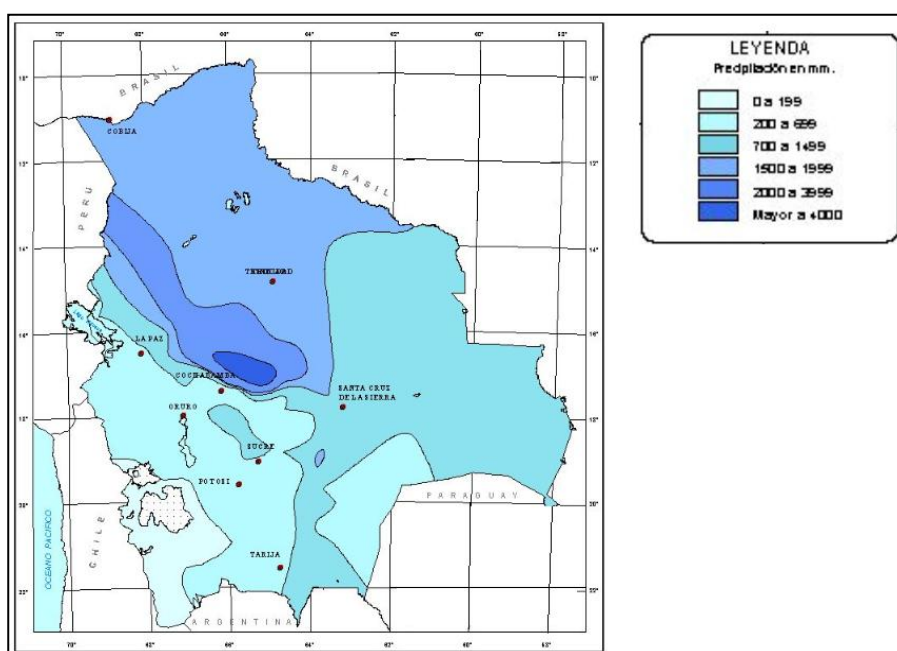


Ilustración 3. Mapa de precipitaciones medias anuales.

Fuente: Centro Digital De Recursos Naturales de Bolivia.

Los pobladores de esta zona del planeta enfrentan hoy día una situación crítica debido a la creciente escasez de los ya limitados recursos hídricos. Sumado a la escasez física, son numerosos los casos en los que las autoridades pertinentes no garantizan el acceso a este recurso esencial, ya sea por fracaso de la institución o bien por **falta de recursos técnicos y/o económicos**. Se estima que, del total de 11 millones de habitantes del Estado Plurinacional de Bolivia, alrededor de 2.3 millones no tienen acceso a agua apta para el consumo humano [4], siendo las zonas más desfavorecidas la Amazonía Boliviana y el Altiplano Boliviano.

En un contexto global de cambio climático, el Altiplano Andino ha sido declarado por la ONU como una de las **zonas** del mundo con **mayor riesgo** de sufrir una **perdida** severa de **sus recursos hídricos** en los próximos 100 años [5]. Ya hoy en día las sucesivas sequías han llevado a numerosas zonas de Bolivia a una situación crítica.

### 2.1.2 El agua y la agricultura.

Durante milenios la combinación de agua y agricultura, junto con multitud de avances en diversos campos del conocimiento, permitieron que la humanidad evolucionara, mejorando el nivel de vida de la creciente población. Es a partir del siglo XX cuando gracias al perfeccionamiento de las técnicas agrícolas, la mayor disponibilidad de agua potable y sobre todo a los avances en tecnológicos, se desencadenó una caída de la mortalidad a nivel global y por consiguiente un aumento sin precedentes en la población.

Este incremento ha aumentado exponencialmente durante el siglo XXI y se espera que en el año 2050 la población del planeta se encuentre entorno a los 10.000 millones de habitantes [6]. Por lo tanto, surge la duda de si, ¿habrá tierra, agua y alimento para todos?

Los cálculos indican que en efecto, la tierra cuenta con recursos suficientes para abastecer las necesidades de una población creciente pero, si la **gestión** de los mismos, en especial de los recursos hídricos, sigue como hasta la fecha, se comprometerá gravemente la disponibilidad de agua en numerosas zonas del planeta y con ellos la seguridad alimentaria<sup>1</sup> de sus habitantes.

---

<sup>1</sup> El término, seguridad alimentaria hace referencia a la disponibilidad de alimentos, el acceso de las personas a ellos y el aprovechamiento biológico de los mismos.

Desde que el hombre comenzó a producir alimentos existen dos formas básicas de cultivar la tierra; a través de la agricultura de secano, es decir, cultivos que dependen exclusivamente de las precipitaciones, como por ejemplo los cereales. O a través de los cultivos de regadío, que necesitan ser regados por el hombre. Esto significa que, en el caso de la agricultura de regadío, existe la necesidad de conseguir agua de fuentes diversas como ríos, lagos o pozos subterráneos para posteriormente regar los cultivos. Se calcula que en torno al 70% del agua dulce del planeta se emplea para este propósito [7], regar los campos que de forma directa o indirectamente dan lugar a lo que comemos.

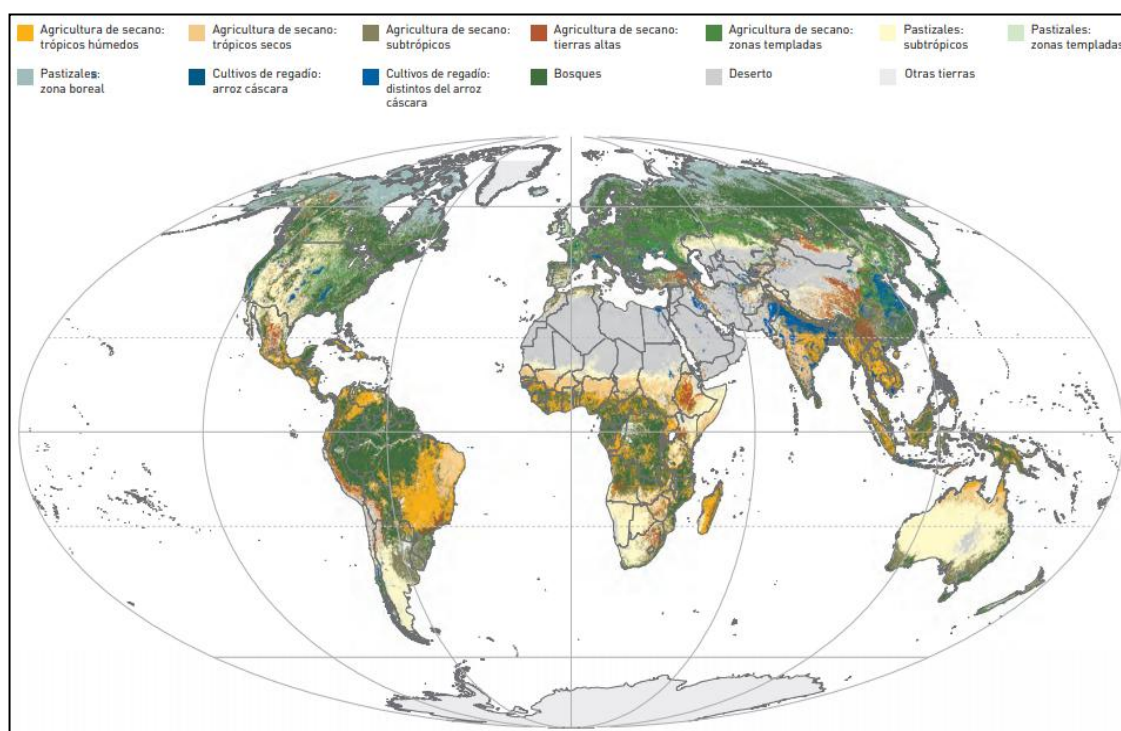


Ilustración 4. Principales sistemas agrícolas del mundo.

Fuente: Estado y tendencias de los recursos de tierras y aguas, FAO, 2011.

En la Ilustración 4, se observa la distribución global de los principales sistemas agrícolas. La zona geográfica correspondiente al Altiplano Boliviano se identifica claramente con un tipo de **agricultura de secano de tierras altas** en la que abunda la producción de tubérculos, raíces y granos de variedades endémicas como la oca o la quinoa[13].

La mayoría de los agricultores de las comunidades rurales situadas en el Altiplano Boliviano llevan a cabo una agricultura que podría catalogarse como de **subsistencia**<sup>2</sup>, que en la mayoría de los casos se combina con una ganadería a pequeña escala (ganado bovino, ovino y camélido). Como se ha mencionado anteriormente, además de los cultivos de grano (trigo, cebada, quinoa), el cultivo predominante es la

<sup>2</sup> La agricultura de subsistencia es un modo de agricultura en la cual una parte de la tierra produce solo una vez al año lo suficiente para almacenar alimentos para la familia que trabaja en ella

patata o “papa”, que con sus innumerables variedades representa la base de la dieta de los pueblos Aymaras.

Se trata de un cultivo de secano que depende exclusivamente de las escasas precipitaciones estivales. Normalmente los cultivos se reducen a un par de hectáreas por agricultor (en el mejor de los casos), que abastece de **sustento básico** durante todo el año. En el caso de que las cosechas genere **excedentes**, estos son vendidos o intercambiados a modo de “**trueque**” por otros bienes. Cabe destacar que el cultivo de la papa va más allá de la dimensión puramente productiva. Para los pueblos andinos la papa es fruto sagrado, un regalo de la Pachamam<sup>3</sup>, presente en numerosos ritos de carácter religiosos.

En la actualidad, se está llevando a cabo un proceso de **diversificación** en la **producción agrícola** en cuanto a las especies cultivadas en las tierras altiplánicas. Una de las apuestas más excitosas hasta la fecha ha sido la del cultivo de **hortalizas en carpas solares** lo que permite, en primer lugar, un **autoabastecimiento** para los productores y sus familias, y en segundo lugar una fuente **extra de ingresos** en caso de que las hortalizas sean comercializadas.

De la mano de estos proyectos, las autoridades gubernamentales están llevando a cabo un plan nacional para garantizar el acceso a agua potable a los habitantes de las regiones más aisladas. La rehabilitación de antiguos pozos y la realización de nuevas prospecciones con el fin de habilitar otros tantos, posibilitará que los agricultores cuenten con un suministro continuo de agua tanto para consumo propio como para su utilización en labores agrícolas.

---

<sup>3</sup> Pachamama (Madre Tierra) o Mama Pacha es una diosa totémica de los Incas representado por el planeta Tierra. Es el núcleo del sistema de creencias de actuación ecológico-social entre los pueblos indígenas de los Andes Centrales de América del Sur.

## 2.2 El Proyecto de la Asociación Civil Ayni.

La Asociación Civil Ayni, con sede en La Paz, Bolivia, lleva más de 20 años comprometida con **la mejora de la calidad de vida** de los productores rurales de las comunidades aymaras situadas en el Altiplano Boliviano. En la actualidad, son una de los organismos no gubernamentales más **reconocidos a nivel nacional**, siendo un ejemplo de buena gestión de proyectos y de respeto hacia la cultura de las comunidades en las que intervienen.

Durante todo este tiempo, la temática en cuanto a los **proyectos ejecutados** ha sido **diversa**. Encontramos multitud de proyectos enfocados a la mejora del **tejido social** de las comunidades (asociacionismo de agentes locales para la autogestión de las comunidades, apoyo a grupos de mujeres, etc.). Otros proyectos, de vertiente más técnica, están enfocados a aumentar la capacidad productiva de los agricultores de forma que esto revierta en una mejora de la calidad de vida de ellos y sus familias (apoyo a productores lecheros, Dotación de sistemas de riego por goteo, reparto de semillas de papa de calidad certificada, etc.). AYNi se ha especializado en la construcción de **carpas solares** destinadas al cultivo de **verduras y hortalizas**.

A continuación se describe, a grandes rasgos, uno de estos proyectos con el cual Ayni ha dotado a más de 40 agricultores repartidos en 10 comunidades, de los materiales y la asistencia técnicas necesaria para construir carpas solares destinadas a garantizar la soberanía alimentaria de los productores y sus familias.

### 2.2.1 Localización.

El proyecto se ha desarrollado en un total de **diez comunidades rurales** situadas en la provincia de Murillo, departamento de La Paz del Estado Plurinacional de Bolivia (**Tabla 1**). Se encuentran repartidas a lo largo de **900 km<sup>2</sup>** en pleno Altiplano Boliviano a una altura promedio de 4000 m.s.n.m. En la actualidad el conjunto de las comunidades cuentan con una población estimada de **5000 habitantes**.

Esta zona del país se encuentra en la actualidad, sumida en una situación de crisis económica bastante severa [4]. Este hecho, agravado por factores naturales como las intensas sequías que han azotado la mitad occidental del país, ha generado que existan en la actualidad



**Ilustración 5. Provincia de Murillo, Departamento de La Paz, Bolivia**

**Fuente: Wikipedia.**

fuertes fenómenos migratorios a nivel interno. Cada vez más bolivianos migran del entorno rural a las grandes ciudades donde, aunque la calidad de vida no necesariamente es mejor, encuentran oportunidades en cuanto a empleo se refiere. Las comunidades del proyecto no son una excepción, son numerosos los habitantes que desarrollan su actividad laboral en las ciudades de El Alto o La Paz.

**Tabla 1. Comunidades en las que se desarrolla el proyecto.**

**Fuente: Elaboración propia.**

<b>Municipio.</b>	<b>Coordenadas (DMS)</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Coordenadas (DMS)</b>
<b>Achocalla.</b>	16° 34' 14.59" S. 68° 10' 4.63" W.	<b>Asunta Killviri.</b>	16° 43' 39.90" S.
			68° 7' 4.84" W.
		<b>Kajchiri.</b>	16° 41' 38.31" S.
			68° 7' 40.03" W.
		<b>Kella Kella.</b>	16° 43' 46.89" S.
			68° 4' 17.79" W.
		<b>San Pedro Kilviri.</b>	16° 43' 44.97" S.
			68° 6' 40.47" W.
		<b>Tuni.</b>	16° 40' 7.59" S.
<b>Mecapaca.</b>	16° 39' 53.09" S. 68° 0' 56.11" W.		68° 8' 25.53" W.
		<b>Taucachi.</b>	16° 42' 54.44" S.
			68° 5' 21.37" W.
		<b>Unkura.</b>	16° 44' 11.23" S.
			68° 3' 40.64" W.
<b>Calamarca.</b>	6° 54' 31.55" S. 68° 7' 4.09" W.	<b>Kera.</b>	16° 43' 46.52" S.
			68° 4' 18.34" W.
		<b>Choritotora.</b>	16° 50' 44.25" S.
			68° 5' 19.80" W.
		<b>Caluyo.</b>	16° 49' 0.00" S.
			68° 6' 8.18" W.

### **2.2.2 Comunidades.**

La totalidad de las comunidades integradas en el proyecto son comunidades indígenas originarias aymaras. Estas comunidades cuentan con un universo cultural e ideológico propio, que hoy en día aún está muy arraigado.

En cuanto al marco institucional y la organización político-social, las comunidades se organizan por sindicatos. Cada comunidad elige, normalmente una vez al año, a los componentes del sindicato (conformado en su mayoría por hombre) y estos

a su vez escogen a varios líderes sindicales. La labor fundamental de estos grupos sindicales es guardar los intereses de su comunidad a la hora de negociar con los Gobiernos Municipales. En la actualidad esta relación Comunidad-Municipio (similar a Pueblo-Capital de Provincia), es por lo general escasa debido en parte al aislamiento de la mayoría de las comunidades. Esto genera una desconexión entre comuneros y gobierno que normalmente revierte en una desconfianza de los primeros hacia los segundos.

La mayoría de los habitantes de estas comunidades se dedican a labores de agricultura y ganadería. Predomina sobre todo el cultivo de la papa, tubérculo endémico de la zona y de granos como la quinua o el tarwi. El nivel de mecanización agraria es escaso o nulo, por lo que el tiempo dedicado a labores como el arado de las tierras (uso de arado de madera arrastrado por bestias de carga), la siembra o la cosecha (manuales ambas) ocupan varios meses del año, suponiendo una enorme carga de trabajo para los agricultores.

Son numerosos los casos en los que se combinan las labores agrícolas con la ganadería a pequeña escala, destinada en la mayoría de los casos al consumo propio. Con la leche de ovejas o vacas se elabora una especie de queso fresco salado muy consumido en la región. Las llamas<sup>4</sup> se destinan para el consumo de su carne previamente salada y para la obtención de lana usada en la elaboración de prendas tradicionales.

En algunos casos, los hombres combinan las labores agroganaderas con trabajos temporales en la ciudad o en comunidades vecinas. En los casos en los que la familia dispone de vehículo suele cumplir de manera esporádica la función de taxi/furgoneta con el fin de obtener ingresos adicionales.

En el Anexo Fotográfico. se muestran diversas imágenes que pretenden ayudar a comprender el contexto de las comunidades, como es su cultura, su forma de vida y el entorno que las rodea.

### **2.2.3 Carpas solares.**

El proyecto que Ayni lleva a cabo en las comunidades anteriormente descritas persigue transformar la realidad de los agricultores que en ellas habitan, mediante la construcción de carpas solares. Esta concepción dual de la asistencia técnica y humanitaria, revierte en una mayor eficiencia en el empleo de espacios agrestes o reducidos, como es el caso de las tierras altiplánicas, que gracias a la implementación de infraestructuras muy sencillas pueden ofertar un ambiente reacondicionado con un

---

<sup>4</sup> La llama es un mamífero artiodáctilo doméstico de la familia *Camelidae*, abundante en la Puna o Altiplano de los Andes de Perú, Bolivia, Chile, Ecuador y Argentina.

microclima propicio capaz albergar especies vegetales que de otro modo no prosperarían en esta zona.

Tales transformaciones permiten a los habitantes de las comunidades contar con una fuente generadora de alimentos que constituyen en la mayoría de los casos, la única manera de hacer llegar vitaminas, minerales, carbohidratos y energía a la mesa de estas familias que en pleno siglo XXI, se ven privadas del acceso a una alimentación básica de mantenimiento. Además, con la construcción de las carpas se propicia una reactivación de la economía familiar generando ingresos por la venta de las hortalizas y plantas aromáticas cultivadas.

### ***¿Qué es una carpa solar?***

*Una carpa solar no es más que un invernadero simplificado. Se trata de una construcción cuyo techo o cubierto es de un material que deja pasar la luz solar facilitando la acumulación de calor durante el día y desprendiéndola gradualmente durante la noche.*

*De esta manera se generan unas condiciones idóneas para el cultivo de vegetales y hortalizas, minimizando además el impacto de las heladas y los fuertes vientos.*

*Las condiciones internas de la carpa (humedad, temperatura, etc.) pueden ser controladas mediante la abertura o cierre de ventanas y puertas, de manera que el microclima generado en el interior se adapte a las condiciones específicas del cultivo albergado en su interior.*

Existen una variedad considerable de posibles diseños en cuanto a carpas solares se refiere. Los que mejor resultado han arrojado a lo largo de los años son los modelos de una caída a media agua y los de semitunel. En este proyecto se ha trabajado con el modelo semitunel cuyo diseño y proceso constructivo se describen de forma breve a continuación (Tabla 2).

Las dimensiones de las carpas son 17 m de largo por 6 de ancho, lo que resulta en una superficie útil para el cultivo próxima a los 100 m<sup>2</sup>.



Tabla 2. Etapas del proceso constructivo de las carpas solares tipo semitúnel.

Fuente: Elaboración propia.

Operación	Descripción	Duración (horas)
<b>1. Ubicación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El lugar elegido debe recibir <b>radiación solar</b> durante un tiempo mínimo de 5 horas al día.</li> <li>– Disponibilidad continua y suficiente de <b>recursos hídricos</b> de buena calidad.</li> <li>– Protegido de la acción del <b>viento</b> y el <b>ganado</b>.</li> <li>– <b>Bajo riesgo de inundación.</b></li> <li>– Suelo de buena calidad, <b>alejado de letrinas y pozos sépticos.</b></li> </ul>	1
<b>2. Orientación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El invernadero debe tener una <b>orientación este-oeste</b> en su eje longitudinal, de esta manera se optimizará al máximo posible la radiación solar recibida.</li> </ul>	0,5
<b>3. Limpieza Y Nivelado.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Previo a la fase de construcción debe realizarse una limpieza y nivelación del terreno.</li> </ul>	2
<b>4. Replanteo.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esta etapa consiste en llevar el plano de cimentación <b>del papel al terreno.</b></li> <li>– Para realizar esta tarea se deben considerar las <b>medidas reales.</b></li> </ul>	3
<b>5. Excavación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tras haber marcado las líneas del diseño en planta con estuco/cal, se procede a <b>escavar</b> la zona donde se colocará la cimentación.</li> <li>– Es recomendable <b>humedecer el suelo</b> el día previo a la excavación para facilitar el trabajo</li> </ul>	4
<b>6. Cimentación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se procede a realizar la cimentación utilizando <b>piedras</b> de tamaño medio/grande y <b>barro/adobe</b> como argamasa.</li> <li>– Los cimientos abarcarán todo el perímetro del invernadero.</li> <li>– Se debe dejar sitio suficiente para la <b>posterior incorporación de las viguetas de hormigón</b> que soportarán la cubierta metálica.</li> </ul>	6
<b>7. Sobrecimentación.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Con ayuda de tablones de madera se construye un sobrecimiento que sobresalga unos <b>10-15 cm</b> con respecto a la horizontal del terreno.</li> <li>– Está conformado por <b>piedras</b> de menor tamaño que en los cimientos y <b>barro/adobe.</b></li> </ul>	6

<b>8. Elaboración de adobe.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para construir las paredes, se utilizan <b>bloques de adobes</b> elaborados con tierra, paja, grava y agua.</li> <li>– Se utiliza un <b>molde</b>.</li> <li>– La tierra utilizada para el adobe debe estar compuesta por <b>20% arena, 20% limo y 60 % arcilla</b>.</li> </ul>	40
<b>9. Construcción de paredes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se procede a construir las paredes del invernadero con los adobes previamente elaborados y atendiendo a los <b>planos constructivos</b>.</li> <li>– Los ladrillos de adobe se unen utilizando una <b>argamasa de barro</b>, arena y paja, abundantemente humedecida.</li> </ul>	10
<b>10. Dinteles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durante el proceso de construcción de paredes se debe considerar la colocación de dinteles para <b>ventanas y puertas</b>.</li> </ul>	1
<b>11. Estructura de cubierta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Antes de proceder a la fijación de la cubierta del invernadero deben instalarse las <b>viguetas de hormigón</b>, enterrándolas hasta el nivel de la cimentación y fijándolas a las paredes con argamasa.</li> <li>– Posteriormente se colocan las <b>arquetas tridimensionales de acero corrugado</b> encajadas a las viguetas de hormigón.</li> <li>– El total de 7 arquetas se unen entre sí por su punto más alto otorgando a la estructura una <b>mayor estabilidad</b>.</li> </ul>	4
<b>12. Techado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se procede a la cobertura de la carpa mediante la unión de <b>láminas de agrofilm</b> hasta conseguir una cubierta de área suficiente para cubrir la totalidad de la carpa con una sola pieza de agrofilm.</li> <li>– Fijación de la cubierta a la estructura principal utilizando <b>clavos y cuerdas</b>.</li> </ul>	10
<b>13. Ventanas Y Puertas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se colocan las ventanas y las puertas previamente construidas utilizando <b>agrofilm</b> y <b>mallado de alambre tejido con aberturas</b> no superiores a 1cm.</li> </ul>	4
<b>14. Revoque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Por último se procederá al revoque de las paredes utilizando una mezcla de <b>barro, grava, paja y abundante agua</b>.</li> </ul>	6

En cuanto a los vegetales cultivados en las carpas, las especies elegidas variarán en función de la actividad desarrollada en las mismas. En los casos en los que el agricultor desee emplear su carpa para un consumo propio, las especies cultivadas pueden ser hortalizas de fruto (tomates, pimientos, pepinos, etc.), hortalizas de tallo y hoja (lechuga, acelgas, espinacas, etc.), hortalizas de raíz (zanahorias, rábanos, nabo, etc.) o leguminosas (guisante, haba, judía, etc.).

La Asociación Civil Ayni ofrece además del cultivo destinado al consumo propio, la alternativa de entrar a formar parte de “Valleverde”, una cooperativa agraria creada por los mismos fundadores de la asociación paceña<sup>5</sup> que comercializa en mercados de la ciudad, las hortalizas de tallo y hoja (lechuga, acelgas, espinacas, etc.) producidas en las carpas solares de las comunidades altiplánicas.

Tabla 3. Temperatura en las carpas para el cultivo de lechuga [14].

Fuente: Elaboración propia.

Temp. extrema		Temp. óptima.	
Temp. min.	Temp. max.	Temp. min.	Temp. max.
5 °C	33 °C	10 °C	23 °C

Aunque los casos de éxito son el común denominador, durante las visitas a las comunidades, se observó que existía una tasa considerable de abandono por parte de los agricultores. En torno a **1 de cada 10 carpas** construidas estaba en la actualidad **abandonada** lo que suponía una pérdida considerable de material, dinero y tiempo, tanto para los trabajadores de la asociación como para los organismos financiadores.

Este abandono de las carpas era en la mayoría de los casos debido a una incompatibilidad del agricultor para combinar esta actividad con sus otras obligaciones (familia, agricultura, ganadería, etc.). Una de las labores que antes se descuidaba era la del riego ya que es una de las pocas que requería de una actuación periódica en el corto plazo. Al secarse los cultivo y perderse la cosecha, el agricultor perdía en muchos casos el interés resultado en un abandono de la carpa.

Se propone como solución a esta problemática, diseñar **un prototipo capaz de gestionar de forma automática la operación del riego en las carpas solares**, de manera que realice funciones de apoyo al agricultor. Además el prototipo será capaz de llevar a cabo una monitorización en tiempo real de parámetros fundamentales para la toma de decisiones.

<sup>5</sup> Relativo a La Paz, capital de Bolivia, o a sus habitantes. Referido a la Asociación Civil Ayni.

## 2.2.4 Sistema actual de riego por goteo

En la actualidad las carpas destinadas a la producción de hortalizas de tallo y hoja para su posterior transformación y comercialización a través de la cooperativa agraria Valleverde, cuentan con un sistema de **riego por goteo** cuyo diseño se explica de forma abreviada a continuación.

Cada carpa posee un **depósito elevado** de unos 5000L de capacidad donde se almacena el agua de riego. Normalmente el depósito se encuentra sobre una estructura a base de ladrillo y cemento con una altura de 2 m, de manera que el agua circula hasta los goteros por la propia diferencia de cotas entre el depósito y el suelo del invernadero, pudiendo así prescindir del uso de bombas. En el caso de que los invernaderos se encuentran semienterrados, el depósito se sitúa al nivel del terreno.

A la salida del depósito encontramos un filtro a través del cual pasa el agua antes de entrar en la red de distribución. Dicho filtro da paso a la canalización principal de 18 m de longitud y diámetro nominal de 25mm que discurre por el eje longitudinal de la carpa hasta llegar al extremo opuesto de donde se localiza el depósito (Fachada de entrada).

Al final de esa canalización principal encontramos una llave de paso seguida de una derivación en T, de esta derivación parten dos ramales perpendiculares a la canalización principal de 3m de longitud cada una y diámetro nominal 25mm.

De cada uno de dichos ramales partirán 6 derivaciones de 17m de longitud y 16mm de diámetro nominal donde se colocaran los goteros a una distancia de 30cm unos del otro. El sistema de riego cuenta por tanto con unos 700 puntos de goteo que abastecerán al mismo número de plantas

Ver Anexo Fotográfico.

## **Capítulo 3. Objetivos.**

### **3.1 Objetivo general del proyecto.**

El objetivo general de este proyecto es diseñar un prototipo que permita la automatización del riego por goteo en las carpas solares destinadas al cultivo de hortalizas de tallo y hoja, del Altiplano Boliviano.

### **3.2 Objetivos específicos del proyecto.**

Como objetivos específicos se persigue:

1. Incrementar el nivel de tecnificación del actual sistema de riego.
2. Diseño de un sistema de bajo coste.
3. Diseño de un sistema de fácil manejo y mantenimiento
4. Diseño de un sistema basado en plataformas “open source” o de uso libre como la plataforma Arduino.
5. Monitorización en tiempo real de parámetros fundamentales para la toma de decisiones.
6. Diseño de un sistema independiente a nivel energético. (Uso de baterías recargables, pilas y/o energía fotovoltaica).

## **Capítulo 4. Estado del Arte.**

## 4.1 Agricultura 4.0 y el Internet de las Cosas.

Desde la creación de las primeras redes de comunicación entre ordenadores a finales de la década de los 60, internet ha supuesto una revolución sin precedentes en diversos ámbitos. El desarrollo de nuevas **herramientas tecnológicas** aplicables al **sector agrícola**, depende en gran medida del desarrollo de elementos capaces de conectarse a internet [10], lo que comúnmente se conoce como el Internet de las Cosas o IoT. Este concepto, que nace a principios de este siglo, hace referencia a la unión entre el mundo físico y el virtual, es decir, la **conexión de los objetos** a internet.

Dentro del sector agroalimentario, la aplicación y uso del IoT es ya una realidad; la Comisión Europea conformó en 2015 la Alianza para la Innovación en el Internet de las Cosas (AIOTI), una asociación cuyo objetivo es desarrollar y apoyar la cooperación e interacción entre los diferentes actores implicados en el sector, creando así un ecosistema de apoyo a la innovación tecnológica. Uno de los puntos clave de esta iniciativa es el apoyo a las innovaciones tecnológicas dentro del sector agrario.

La implementación del IoT en el sector agrícola implica una serie de retos específicos derivados de las propias condiciones ligadas al sector. El IoT se basa en la conectividad, por lo que, para poder implementar dicha tecnología en las zonas rurales, es fundamental la existencia de redes de comunicación capaces de gestionar de forma fiable un futuro sistema agrícola interconectado.

Los principales requisitos de conectividad de las aplicaciones agrícolas de IoT son; una gran cobertura y un bajo coste de implementación y mantenimiento. La mayoría de aplicaciones, centradas en la monitorización y obtención de datos, utilizan redes de comunicación con anchos de banda relativamente bajos como la ya casi extinta red 2G o LPWA (LoRa, SigFox). La subsistencia a largo plazo de este tipo de redes no está asegurada por lo que uno de los retos a los que se enfrenta el sector es el desarrollo de una nueva generación de redes de comunicación capaces de ofrecer una conectividad ininterrumpida incluso en las áreas rurales más aisladas.

Otro de los retos a los que se enfrenta el IoT dentro del sector agroalimentario es la creación de **ecosistemas conectados**. Uno de los pilares de la agricultura 4.0 es la obtención y el análisis de información, pero para conseguir resultados significativos que reviertan en una optimización final de la producción, toda esta información debe ser procesada a un nivel más alto que el del propio agricultor. Esto implicaría la colaboración de distintos agentes entre sí, para el desarrollo de plataformas de intercambio y análisis de datos capaces de detectar pautas de comportamiento.

Uno de los pasos fundamentales para la integración de la agricultura 4.0 es la implicación de los propios agricultores en la **modernización de sus prácticas de producción**. Por lo general, el poder adquisitivo de los agricultores lo que limita el acceso al crédito y por consiguiente la capacidad de inversión.



En definitiva, el desarrollo y uso de nuevas tecnologías en el ámbito agroalimentario es un sector en auge en el que se está generando una gran cantidad de conocimiento ligado al aumento de la productividad, la calidad y la eficiencia en el uso de recursos naturales. Los mayores retos a los que se enfrenta son la **conectividad** de los dispositivos a redes de comunicación y a la creación de **plataformas de análisis** de datos a gran escala.

## 4.2 Arduino.

Con el desarrollo del IoT han surgido en los últimos años una serie de plataformas cuyo objetivo principal ha sido democratizar el acceso a este tipo de tecnología y fomentar el conocimiento compartido. Uno de los ejemplos más conocidos es el de la plataforma open source Arduino.

Arduino o Genuino, como se la conocía hasta el año 2016, es una plataforma electrónica de uso libre u “open-source” que proporciona tanto hardware, como software, dirigida a todo tipo de usuario y basada en una curva de aprendizaje rápida [11].

En esencia, Arduino se basa en captar lecturas o inputs (luz captada por un sensor, lectura de huella dactilar, etc.) a partir de una batería de entradas, bien de tipo digital o analógicas, procesar esa información en una placa base (Arduino UNO, Node MCU, etc.) y generar una respuesta u output a través de otra serie de salidas (activar un motor, encender un LED, etc.). Aunque en la actualidad existen multitud de microcontroladores y plataformas (Parallax Basic Stamp, BX-24 de Netmedia, Phidgets, Handyboard de MIT). Arduino ofrece algunas ventajas claves con respecto a sus competidores:

- **Bajo coste:** las placas Arduino son económicas en comparación con otras plataformas. Al ser open hardware, los esquemáticos son de libre acceso, por lo que existen toda una variedad de versiones compatibles en el mercado, con un precio que no suele superar los 10€/placa. Por otra parte, dependiendo del modelo, los módulos comerciales también son accesible, cuestan entre 20-40€.
- **Multiplataforma:** el software Arduino (IDE) se ejecuta en multitud de sistemas operativos (Windows, Macintosh OSX y Linux) mientras que la mayoría de sistemas de microcontroladores están limitados en este sentido.
- **Entorno de programación sencillo y claro:** el software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiantes, pero lo suficientemente flexible como para que los usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.

- **Software de código abierto y extensible:** el software Arduino está constituido como una herramienta de código abierto, lo que además significa que está disponible para ser extendido/aumentado por programadores con la suficiente experiencia, principalmente mediante el desarrollo de librerías de compatibilidad.
- **Hardware de código abierto y extensible:** los planos de las placas Arduino se publican bajo una licencia de “*Creative Commons*”, por lo que los diseñadores experimentados de circuitos pueden crear su propia versión del módulo, ampliarlo y mejorarlo.

Desde su nacimiento en el año 2005 Arduino, miles de proyectos han surgido a partir de esta plataforma, que abarcaban desde la construcción de objetos cotidianos hasta otros proyectos más complejos. Paralelamente se ha creado una comunidad mundial de desarrolladores conformada por perfiles variados (estudiantes, aficionados, ingenieros, programadores y profesionales) que se han reunido en torno a esta plataforma. Cada una de estas personas ha generado una increíble cantidad de conocimiento accesible para cualquier usuario. Toda esta información puede ser de gran ayuda tanto para principiantes como para expertos.

En el caso concreto de este proyecto se ha decidido utilizar la plataforma Arduino para el diseño del prototipo en cuestión por varios factores: su bajo coste, su facilidad para adaptar multitud de tipos de sensores e incorporar conectividad para actuar de acuerdo a su estado, su capacidad para que el prototipo resultante sea replicado de manera rápida y sencilla y la facilidad para .

En caso de precisar información más elaborada es recomendable visitar la web oficial de Arduino, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Existen además, innumerables guías sobre cómo utilizar esta plataforma, sus diferentes placas base y como iniciarse en el mundo de la electrónica y la programación.

### 4.3 Sistemas de Riego Automatizados.

En la actualidad existen diversas tecnologías de soporte destinadas al manejo del riego, programadores de riego que automatizan la operación de electroválvulas, bombas y demás elementos del sistema, además de proporcionar recomendaciones en tiempo real. Asimismo, las TIC's facilitan el uso de sensores que permiten acceder a la información en cualquier lugar.

La automatización del riego comprende una serie de componentes básicos que están presentes en la mayoría de casos, como son:

1. Sensores/Transductores como tensiómetros, manómetros, sensores de humedad del suelo, caudalímetros,, medidores de nivel, etc.
2. Actuadores como válvulas, arrancadores de motor, contactores, etc.
3. Unidades de control, donde se realiza la toma de decisiones.
4. Sistemas de protección y alarma como señales sonoras o luminosas, sistemas de protección eléctrica, etc.
5. Sistemas de comunicación como app móvil, interfaces web, etc.

Existen unas condiciones deseadas en cuanto a las necesidades idóneas de riego de un determinado cultivo. Estas condiciones están sujetas a unas determinadas variables (temperatura, humedad, estrés hídrico, etc.) que son medidas por los sensores/transductores. El funcionamiento del sistema consiste en obtener dicha información, la cual es posteriormente procesada en una unidad de control que generará una determinada respuesta sobre los actuadores. Esta respuesta tendrá como objetivo alcanzar las condiciones ideales para el desarrollo del cultivo. Se trata por tanto de un ciclo cerrado en el que el flujo de información es constante.

En la actualidad, la mayoría de sistemas incorporan además elementos para un manejo más eficiente de los mismos, ya sea autónomo o manual, y que dan soporte a la toma de decisiones (aplicaciones móviles, almacenamiento de información, sistemas de alarma, etc.).

Las diferencias entre los posibles diseños en cuanto a sistemas de riego automatizado, radican fundamentalmente en la disposición de las unidades de control y en los sistemas de comunicación utilizados para facilitar el flujo de información.

Dispositivos más avanzados utilizan sistemas de comunicación inalámbricos (WiFi, 3G, Bluetooth) para facilitar el flujo de información entre los sensores y la unidad de control. Dentro de esta modalidad, uno de las alternativas que han demostrado tener más éxito es la denominada “*Client-Server Network*” o red de clientes y servidor [12] .

La arquitectura de este modelo es una red distribuida basada en la comunicación de un servidor con múltiples clientes. El cliente envía una solicitud, es por tanto el remitente. El servidor recibe esta petición y responde de acuerdo con lo solicitado. Esta es la arquitectura básica de numerosas redes actuales, algunos ejemplos diarios son las

plataformas de correo electrónico, los servidores de impresión o el sistema de distribución de documentos WWW.

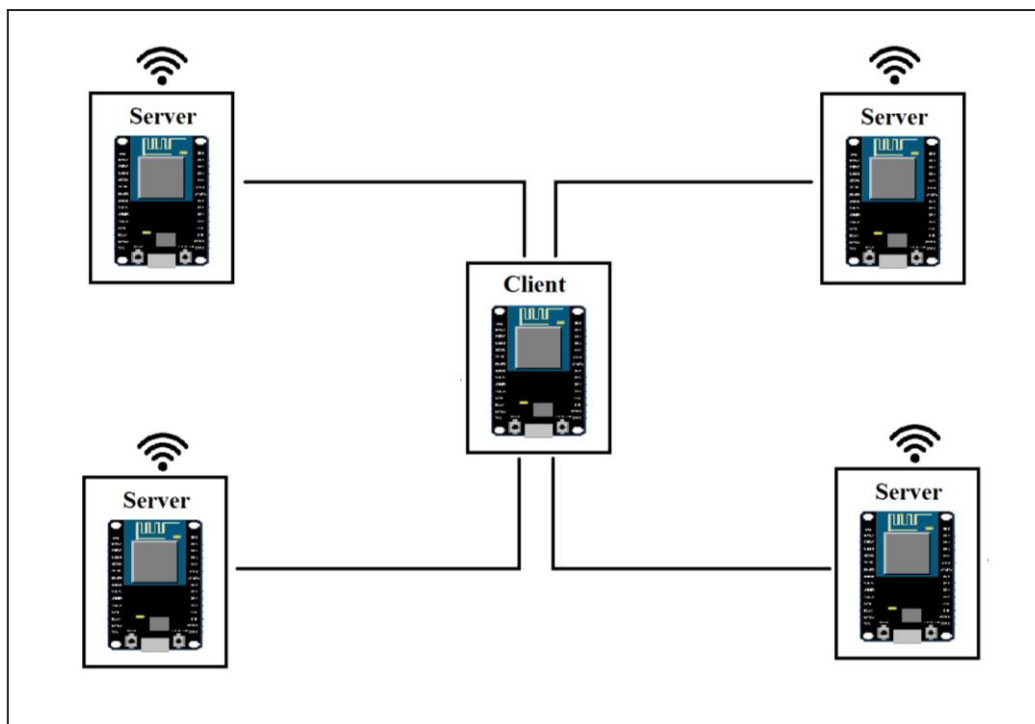


Ilustración 6. Esquema de comunicación tipo Client-Server, Nodes Mcu.

Fuente: Elaboración propia

En este proyecto se utilizará una lógica inversa (Ilustración 6) a la anteriormente descrita. Será el módulo central (cliente) el que realice una petición a los módulos remotos (servidores) para que estos envíen los datos procedentes de la lectura de sensores. Una vez que el módulo central reciba la información, esta será procesada para realizar el control de una electroválvula que regulará el riego de las carpas solares.

Las principales ventajas que ofrece este sistema son:

- Centralización del control.
- Escalabilidad: se puede aumentar la capacidad de clientes y servidores por separado.
- Fácil mantenimiento: al estar distribuidas las funciones y responsabilidades entre varios ordenadores independientes, es posible reemplazar, reparar, actualizar, o incluso trasladar un servidor, mientras que sus clientes no se verán afectados por ese cambio

En este proyecto se utilizará una lógica inversa a la anteriormente descrita. Será el módulo central (cliente) el que realice una petición a los módulos remotos (servidores) para que estos envíen los datos procedentes de la lectura de sensores. Una vez que el módulo central reciba la información, esta será procesada para realizar el control de una electroválvula que regulará el riego de las carpas solares.

El documento muestra a continuación como se han diseñado los Módulos Remotos y el Módulo Central, describiendo tanto el hardware (Placas base, sensores, accesorios) como el software (Programación).

## **Capítulo 5. Material y Métodos.**

En este capítulo se detallan las características de los diferentes elementos hardware y software empleados para la concepción del prototipo. Todos ellos han sido escogidos atendiendo al contexto particular en el que se desarrolla el proyecto, son por tanto compatibles con la plataforma Arduino, de bajo coste y su uso o posible modificación no está sujeta a ningún tipo de licencia. Los elementos que componen el prototipo son:

## 5.1 Elementos Hardware.

### A. Placa de desarrollo Node Mcu.

Basada en el chip ESP8266 (ESP-12E), NodeMcu es un kit de desarrollo de código abierto que utiliza el lenguaje de programación “Lua” para crear un entorno de desarrollo propicio para proyectos/aplicaciones que requiera de **conectividad Wifi**.

Esta placa, compatible con la plataforma Arduino, destaca por el alto grado de integración de sus componentes. Cuenta con una circuitería externa mínima, de manera que la totalidad del dispositivo, incluyendo el chip ESP8266 (ESP-12E) está diseñado para ocupar una **superficie mínima**. Este kit de desarrollo permite, entre otras cosas, conectar un determinado prototipo a una aplicación móvil o manejar sensores y accionamientos de forma remota, ofreciendo multitud de posibilidades dentro del campo del IoT.

Para este proyecto emplearemos la placa NodeMcu Lua ESP8266 (ESP12E) CP2102 WIFI, que a su vez cuenta con el chip CP2102 (con versión USB – serial).



Ilustración 7. Node Mcu (ESP12E)

Tabla 4. Características técnicas Node Mcu ESP8266.

<b>Características:</b>
Procesador ESP8266 @ 80MHz (3.3V) (ESP-12E)
4MB de memoria FLASH (32 MBit)
WiFi 802.11 b/g/n
Regulador 3.3V integrado (500mA)
Convertor USB-Serial CH340
Función Auto-reset
9 pines GPIO con I2C y SPI
1 entrada analógica (1.0V max)
4 agujeros de montaje (3mm)
Pulsador de RESET
Entrada alimentación externa VIN (20V max)

## B. Sensor de temperatura y humedad DHT22

Se trata de un sensor de bajo coste y tamaño muy reducido, capaz de realizar mediciones de humedad relativa y temperatura ambiente. Más preciso que su antecesor el DHT11, ofrece las siguientes características generales:

- **Alimentación:** 3.3v – 5.5v, tomando como valor recomendado 5v.
- **Resolución decimal:** los valores de humedad y temperatura serán números con hasta dos cifras decimales.
- **Tiempo de respuesta:** 2 segundos, es decir, refleja cambios reales en los parámetros medidos cada 2 segundos.

En cuanto a la precisión en la lectura de temperatura ambiente, el sensor DHT22 ofrece:

- **Rango de valores:** entre -40°C y 80°C.
- **Precisión:**  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  como máximo en condiciones adversas.
- **Tiempo de respuesta:** <10 segundos, es decir, de media, tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio de temperatura real en el entorno.

En cuanto a la precisión en la lectura de humedad relativa del ambiente, el sensor DHT22 ofrece:

- **Rango de valores:** entre 0% y 99.9%.
- **Precisión:**  $\pm 2\%$ HR, a una temperatura de 25°C
- **Tiempo de respuesta:** < 5 segundos, es decir, de media, tarda menos de 5 segundos en reflejar un cambio de humedad relativa real en el entorno.

En cuanto a la distribución de las conexiones, este sensor ofrece dos modelos:

- **Modelo A:** con cuatro pines de conexión.
- **Modelo B:** mismo sensor, pero esta vez soldado en una placa y con tres pines de conexión, además de una resistencia pull-up (3-6 k $\Omega$ ) y un condensador de filtrado (normalmente de 100 nF).



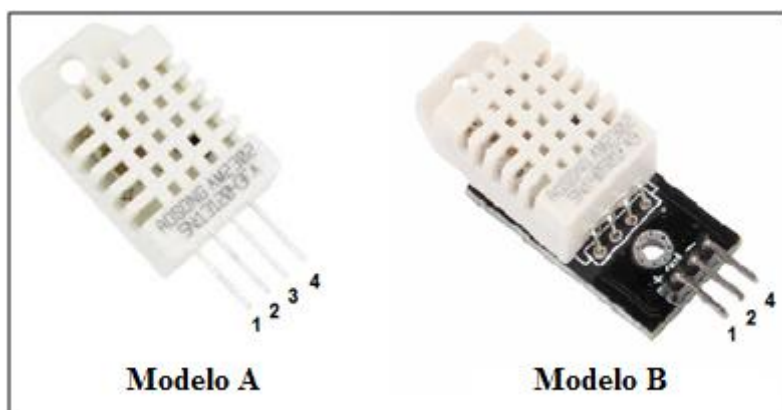


Tabla 5. Pines DHT22

Sensor DHT22	
Pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND

Ilustración 8. Distribución de pines sensor DHT22.

### C. Sensor de humedad del suelo.

Este sensor será el encargado de medir el contenido de humedad del suelo, entendida como la cantidad de agua por volumen de tierra. Existen en el mercado una gran variedad de sensores de humedad del suelo aumentando el precio de los mismos proporcionalmente a su grado de precisión en la toma de datos. En este caso utilizaremos un sensor de bajo coste compatible con la plataforma de desarrollo Arduino, el sensor de humedad de suelo SKU:SEN0114 de DFRobot, que ofrece un rango de medidas suficientes para las necesidades de nuestro prototipo.

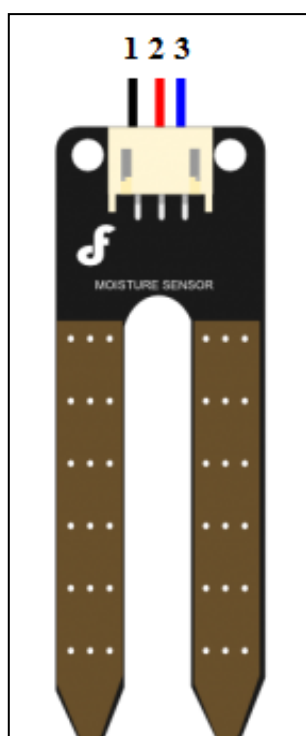


Ilustración 9. Sensor SKU:SEN0114.

Tabla 6. Características sensor SKU:SEN0114

<b>Características:</b>
Fuente de alimentación 3.3v or 5v
Voltaje Señal Output 0~4.2v
Corriente: 35mA
Tamaño: 60x20x5mm
Rango de Valores:
0 ~300 : dry soil
300~700 : humid soil
700~950 : in water

Tabla 7. Pines SKU SEN0114.

Sensor SKU:SEN0114	
Pins	
1	GND
2	VCC
3	DATA

Se compone de dos sondas metálicas que se clavan en el suelo a una profundidad adecuada (cerca de la raíz de la planta). A través de ellas pasará una corriente eléctrica de manera que, cuanto mayor sea el contenido de humedad del suelo, mayor será la conductividad del mismo y mayor será la lectura del sensor.

Las partes metálicas se encuentran, al estar enterradas en un sustrato con cierta cantidad de agua, expuestas a la oxidación. En el sensor escogido, las sondas metálicas han sido recubiertas con un baño de oro para prolongar la vida útil del dispositivo, aun así, no es recomendable que el sensor sea utilizado en terrenos con cantidades elevadas de agua. Aunque en nuestro proyecto el terreno no alcanzará en condiciones normales, porcentajes altos de humedad del suelo, es conveniente considerar el sensor de humedad como un elemento a renovar con cierta periodicidad.

#### D. Módulo Micro SD.

Se añadirá un módulo micro SD que permita el almacenamiento de los datos obtenidos por ambos sensores en una tarjeta micro SD



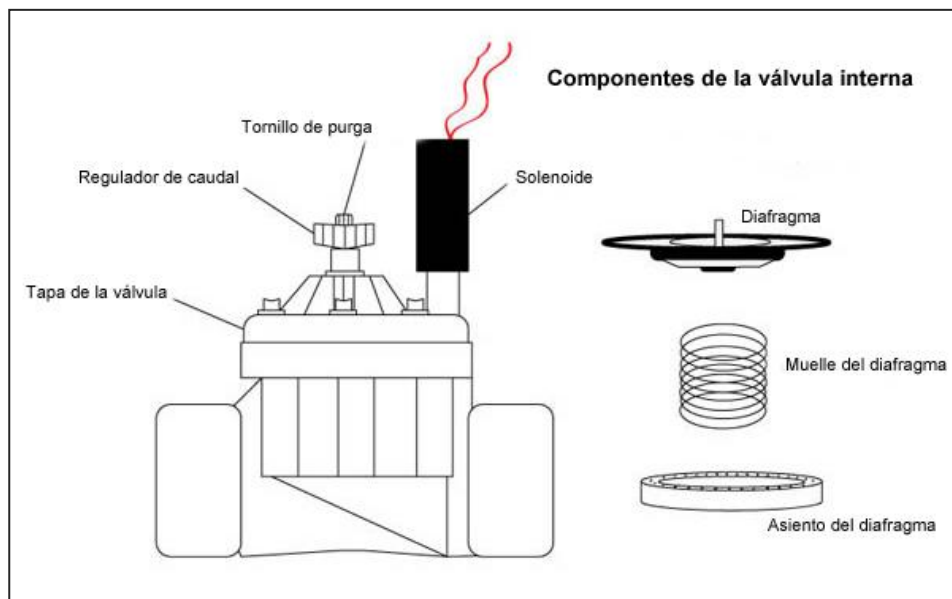
Ilustración 10. Módulo Micro SD.

Tabla 8. Pines módulo Micro SD.

Módulo	Micro SD
Pins	
1	GND
2	VCC
3	MISO
4	MOSI
5	SCK
6	CS

#### E. Electroválvula.

La electroválvula será el elemento encargado de regular el paso de agua a través del sistema de riego por goteo de las carpas. En la Ilustración 11 se muestra la estructura básica de una electroválvula empleada para el riego.



**Ilustración 11. Componentes principales de una electroválvula.**

Estos dispositivos electromecánicos, conocidos también con el nombre de válvulas solenoides, tienen un principio de funcionamiento sencillo a la par que eficaz.

La apertura o cierre de la válvula dependerá de si esta recibe o no corriente. Cuando la válvula no recibe corriente, normalmente se impide el flujo de agua a través de ella, por el contrario, si recibe corriente, esta pasa a través de un solenoide metálico (Muelle del diafragma) creando un campo magnético a su alrededor. Este campo magnético atrae a un pistón metálico que en condiciones normales tapona la entrada del líquido situada en la base del diafragma. Al quedar libre esta abertura, el agua pasa a través de ella produciéndose una igualdad de presiones a ambos lados del diafragma que se eleva para dejar pasar al fluido en cuestión.

Atendiendo al número de vías que comunican las diferentes cavidades de la electroválvula entre sí, encontramos válvulas de dos o tres vías. En este caso se decide utilizar una electroválvula de 2 vías con un diámetro nominal de entrada y salida de 25 mm conectada a una fuente de alimentación de 12V

## F. Módulo Relé.

Para controlar el funcionamiento de la electroválvula se utilizará un módulo relé compatible con la plataforma Arduino. El modelo elegido es capaz de operar en un rango de entre 5 y 12V con un poder de corte de 10A.

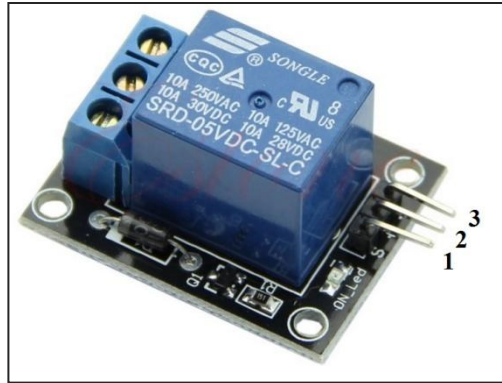


Tabla 9. Pines módulo relé.

Dispositivo Relé	
Pins	
1	DATA
2	VCC
3	GND

Ilustración 12. Módulo Relé.

## G. Elementos Adicionales.

Para el ensamblaje y conexión de los distintos elementos descritos anteriormente será necesario el uso de una serie de elementos adicionales.

Se emplearán placas de prueba o protoboard de 400 puntos para montar las placas NodeMcu y realizar las conexiones entre los diferentes elementos del sistema. Serán necesarios además multitud de conectores de tipo macho-macho y macho-hembra. Se añadirán también dispositivos LED's que actúen a modo de señal visual para indicar el correcto funcionamiento del sistema.

En el Anexo Valoración Económica, se especifican todos y cada uno de los componentes empleados para el diseño de los diferentes dispositivos que integran el prototipo. Se facilitan además un precio estimado de cada uno de los componentes y un enlace de compra a través de plataformas de venta y distribución online.

## 5.2 Desarrollo Software.

### A. IDE Arduino.

Para el desarrollo software del prototipo se ha empleado la plataforma de programación Arduino IDE en su versión 1.8.5 compatible con Windows 10. Se trata de una **plataforma de uso libre** diseñado para la redacción de código de programación y su posteriormente subida a todas aquellas placas de programación compatibles con Arduino.

La plataforma es de uso público y puede ser descargada a través del enlace: <https://www.arduino.cc/en/main/software>. Una vez descargada, debe ser configurado para poder operar con los dispositivos Node Mcu. Para ello es necesario acceder a Archivo -> Preferencias -> Gestor de URL's Adicionales de Tarjetas e insertar el enlace: [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json). Una vez hecho esto, se debe acceder Herramientas -> Placas -> Gestor de Tarjetas -> Buscador e insertar "esp8266 by esp8266".

Una vez configurada la plataforma, en la barra de herramientas deben aparecer las especificaciones mostradas en la

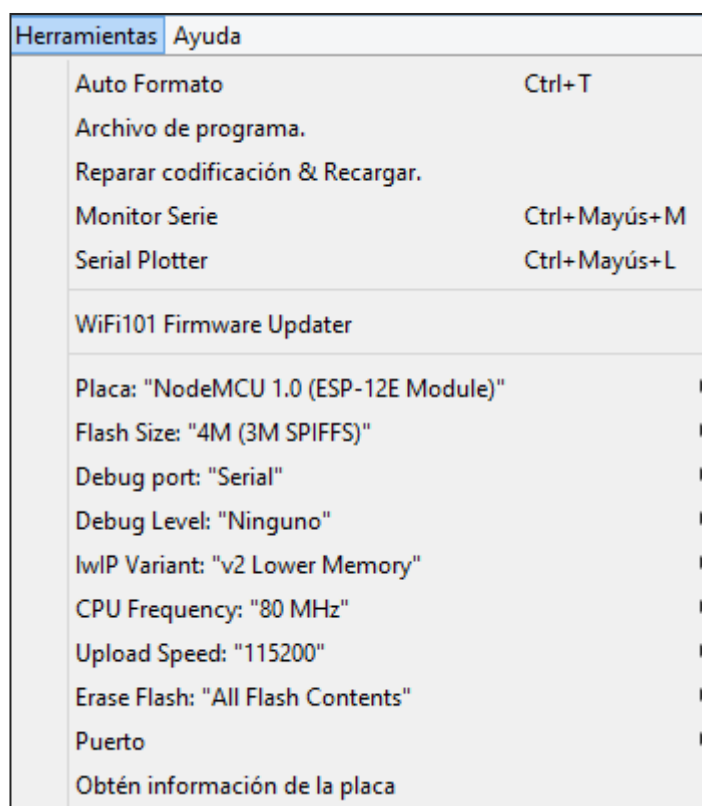


Ilustración 13. Especificaciones Arduino IDE para Node Mcu

Adicionalmente se deberán descargar e incluir las diferentes librerías<sup>6</sup> necesarias para el correcto funcionamiento del prototipo, especificadas en el Anexo Códigos. Todas estas librerías son de uso público y se encuentran en multitud de servidores web.

- Librería 1: <SD.h> // Tarjeta S
- Librería 2: <SPI.h> // Tarjeta SD
- Librería 3: <ESP8266WiFi.h> // Node Mcu
- Librería 4: <SimpleTimer.h> // Temporizador
- Librería 5: <DHT.h> // Sensor DHT Temperatura y humedad

## B. Blynk.

Blynk es una plataforma de uso libre diseñada para el **desarrollo de aplicaciones móviles** capaces de interactuar con proyectos desarrollados en Arduino o Raspberry Pi.

Esta plataforma, concebida para funcionar dentro del ámbito del IoT, es capaz de realizar multitud de funciones como por ejemplo, **controlar hardware** de forma remota, **mostrar información** proveniente de la lectura de sensores o almacenar datos, todo ello a través de una **interface sencilla e intuitiva**.

En este proyecto se utilizará la plataforma Blynk para diseñar una aplicación móvil en la que se puedan visualizar en tiempo real parámetros fundamentales relacionados con la toma de decisiones, todo ello mediante una interface sencilla e intuitiva.

La comunicación entre el prototipo y la aplicación móvil se basa en una función específica dentro de la función loop de los dispositivos encargados de la toma de datos (Módulos Remotos). Esta función se ha denominado sendSensor (). (Ver Anexo Códigos)

Adicionalmente ha sido necesario incluir una librería específica que posibilita el intercambio de información entre procesadores que integran el chip ESP 8266 y la plataforma Blynk.

- Librería 6: <BlynkSimpleEsp8266.h>

---

<sup>6</sup> Las librerías son colecciones de código que facilitan la interconexión de sensores, pantallas, módulos electrónicos, etc.

## **Capítulo 6. Resultados y Discusión.**

## 6.1 Funcionamiento del Prototipo.

Mediante este proyecto se ha logrado diseñar un prototipo capaz de automatizar la operación de riego por goteo para el caso concreto de las carpas solares destinadas al cultivo de hortalizas en comunidades Aymaras del Altiplano Boliviano.

A continuación se describe de forma detallada el funcionamiento del prototipo y de los diferentes dispositivos que lo integran. Se especifican de igual manera los diferentes flujos de información, los esquemas de conexiones y los sistemas de alimentación utilizados.

El prototipo está constituido a su vez por dos dispositivos independientes que se comunican entre sí, los Módulos Remotos y el Módulo Central:

- **Módulos Remotos:** son los encargados de medir las variables relacionadas con la toma de decisiones y hacerlas llegar al resto de dispositivos que integran el sistema. Esto será posible gracias a la utilización de dos sensores compactos de bajo coste compatibles con el hardware y software Arduino (DHT 22 y SKU:SEN0114).
- El **Módulo Central** es el dispositivo encargado de analizar y procesar la información procedente de los Módulos Remotos y actuar en consecuencia sobre la electroválvula que controla el flujo de agua a través del Sistema de Riego.

Ambos dispositivos han sido diseñados en base al kit de desarrollo Node Mcu por lo que todas las comunicaciones se realizarán de forma inalámbrica. Existen dos alternativas básicas a la hora de mandar información de un Node Mcu (ESP8266) a otro, en ambos casos el “cliente” será el solicitante y el “servidor” el encargado de responder a dicha solicitud.

1. El cliente manda una “*solicitud http*” y el servidor al “*escucharla*” responderá modificando alguno de sus inputs/outputs. Se trata de una **comunicación unidireccional** ya que una vez se ha recibido la solicitud, no hay ningún mensaje de vuelta.
2. El cliente manda una “*solicitud http*” en la que se pide al servidor que mande algún tipo de información adjunta en un mensaje de vuelta, el servidor al “*escucharla*” elabora el mensaje con la información deseada y lo manda como respuesta al cliente. Podemos decir que en este caso el cliente y el servidor cooperan gracias a una **comunicación bidireccional**.



En este proyecto se han configurado los Nodes Mcu para que se comuniquen siguiendo el patrón descrito en la segunda alternativa. A continuación se describe de forma detallada como ocurre este flujo de información.

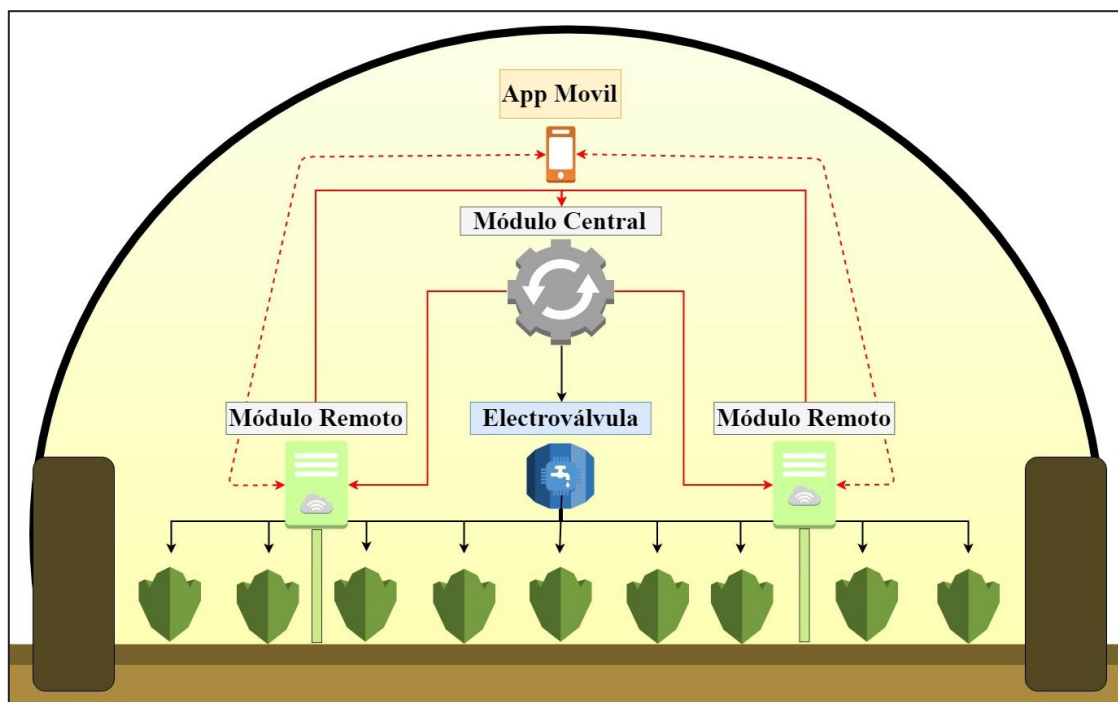


Ilustración 14. Diagrama de funcionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

Se distribuirán de manera uniforme un total 6 Módulos Remotos sobre la totalidad de la superficie cultivable de la carpa solar de forma que se lleve a cabo un registro completo de los parámetros a analizar. La unidad de control estará constituida por un único un Módulo Central encargado del controlar la electroválvula

En primer lugar tanto el **cliente (Módulo Central)** como el servidor (**Módulos Remotos**) deben conectarse a la red WiFi especificada en el código de programación (SSID y Password). El prototipo ha sido diseñado para funcionar con un **terminal móvil** actuando como dispositivo emisor de señal WiFi.

Una vez conectados, ambos dispositivos adoptan un determinado “comportamiento” **el Módulo Central demandará información y los Módulos Remotos estarán en alerta ante posibles solicitudes de información.**

El Módulo Central solicitará al Módulo Remoto que le envíe un mensaje de vuelta en el que se incluya la lectura del contenido de humedad del suelo. El Módulo Remoto al recibir este mensaje/solicitud recoge la lectura del sensor de humedad del suelo y manda dicho valor como respuesta de nuevo al Módulo Central.

Una vez este mensaje sea recibido por el Módulo Central, se eliminarán las partes innecesarias (direcciones IP de cliente y servidor) para obtener un valor numérico con el que poder operar.

Si el valor recibido es menor que el valor crítico de humedad de suelo predeterminado en el código, se interpretará que el cultivo necesita ser regado por lo que el Módulo Central activará el relé que a su vez habilitará la apertura de la electroválvula, permitiendo así el flujo de agua a través del sistema de riego.

Cuando se alcance un nivel de humedad del suelo aceptable, el sistema desactivará el relé que controla la electroválvula y el flujo de agua se verá interrumpido hasta que se vuelva a detectar que el contenido de humedad del suelo no es suficiente.

Como podemos observar (Ilustración 14), existe una comunicación cíclica entre el Módulo Central y los Módulos Remotos que sigue la lógica solicitud-respuesta. Existe además una comunicación entre los Módulos Remotos y el dispositivo móvil (app).

Toda la información generada en los Módulos Remotos es almacenada en un archivo .txt, mediante la inserción de un tarjeta Micro SD en el módulo habilitado para ello. En el código del Módulo Remoto se ha predeterminado al mencionado archivo con el nombre SD.txt.

En cuanto a la disposición de la electroválvula, se recomienda que se realice una derivación en el sistema de riego para su instalación, de esta manera el sistema mantendrá la válvula manual pudiéndose alternar el riego automático con el manual.

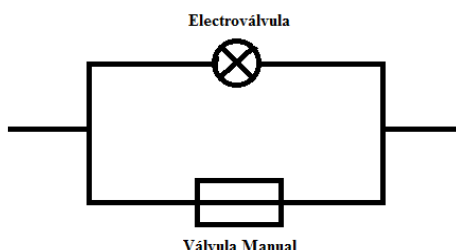


Ilustración 15. Combinación Electroválvula y Válvula Manual.

## 6.2 App Movil

Con el objetivo de facilitar el acceso a la información, se ha diseñado una **app móvil** donde se muestran en tiempo real los valores de los diferentes parámetros medidos por los sensores (Ilustración 16), todo ello a través de una interface sencilla e intuitiva. La aplicación ha sido diseñada utilizando la plataforma de desarrollo libre “Blynk”, especializada en la conectividad entre Smartphone (IOS o Android) y plataformas de desarrollo electrónico como Arduino o Raspberry Pi.

Dicha aplicación podrá ser descargada en cualquier dispositivo móvil que cuente con una cámara digital incorporada. Mediante la lectura de un código QR pegado en la parte frontal de los Módulos Remotos (Ilustración 17) la aplicación se descargará automáticamente.

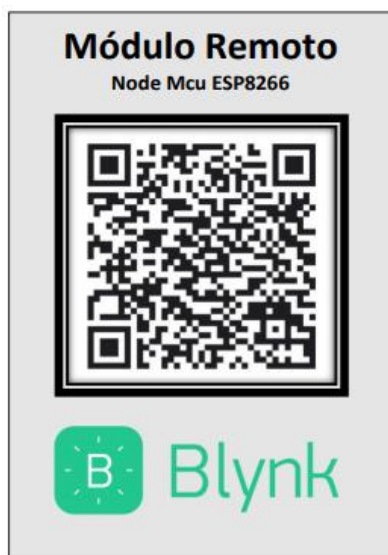


Ilustración 17. Código descarga aplicación móvil.

Fuente: Elaboración Propia

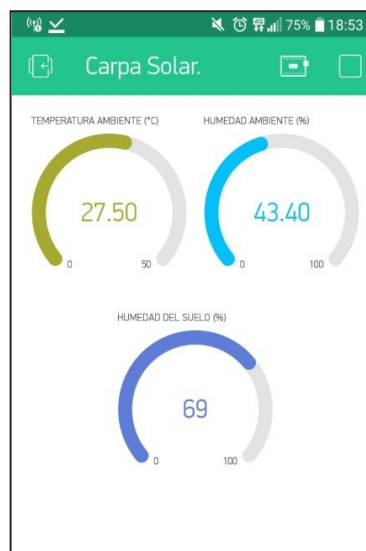


Ilustración 16. Captura de pantalla App Carpa Solar.

Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 Suministro eléctrico

Ambos dispositivos han sido diseñados para ser **independientes a nivel energético**. Teniendo en cuenta el bajo consumo de los Módulos Remotos, se opta por alimentar al sistema con una pila de 9V (Ilustración 19) que deberá ser reemplazada cuando se observe que el LED azul que indica el correcto funcionamiento del dispositivo pierde intensidad luminosa o deja de parpadear.

Tanto el módulo de control como la electroválvula requieren de un sistema de alimentación independiente y autosustentable. Debido a falta de suministro eléctrico en la mayoría de las comunidades, se ha optado por alimentar al Módulo Central y a la electroválvula de forma simultánea mediante un sistema fotovoltaico aislado (Ilustración 18).

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico de suministro energético debe asegurar el funcionamiento continuo tanto del módulo central como de la electroválvula, siendo capaz de soportar periodos relativamente largo de ausencia de radiación solar. Los elementos que conforman este sistema de alimentación serán:

- **Panel Fotovoltaico:** El panel fotovoltaico es el elemento encargado de transformar la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrica útil para el sistema. Este ha de ser colocado en la superficie curva de la carpa por lo que se recomienda utilizar un panel flexible que se adapte a la fisonomía del cerramiento.  
En cuanto a las características técnicas del mismo, se ha estimado que un solo panel con una potencia pico de 50W será suficiente para las necesidades energéticas requeridas.
- **Regulador:** Elemento encargado del control del flujo energético entre el panel fotovoltaico y la batería, proporcionando además corriente continua para abastecer a Módulo Central y la electroválvula.
- **Batería:** Se utilizará una batería de ácido de plomo con la capacidad suficiente para aguantar días consecutivos con radiación solar escasa. Una capacidad de 4Ah y una tensión de 12 V serán suficientes.

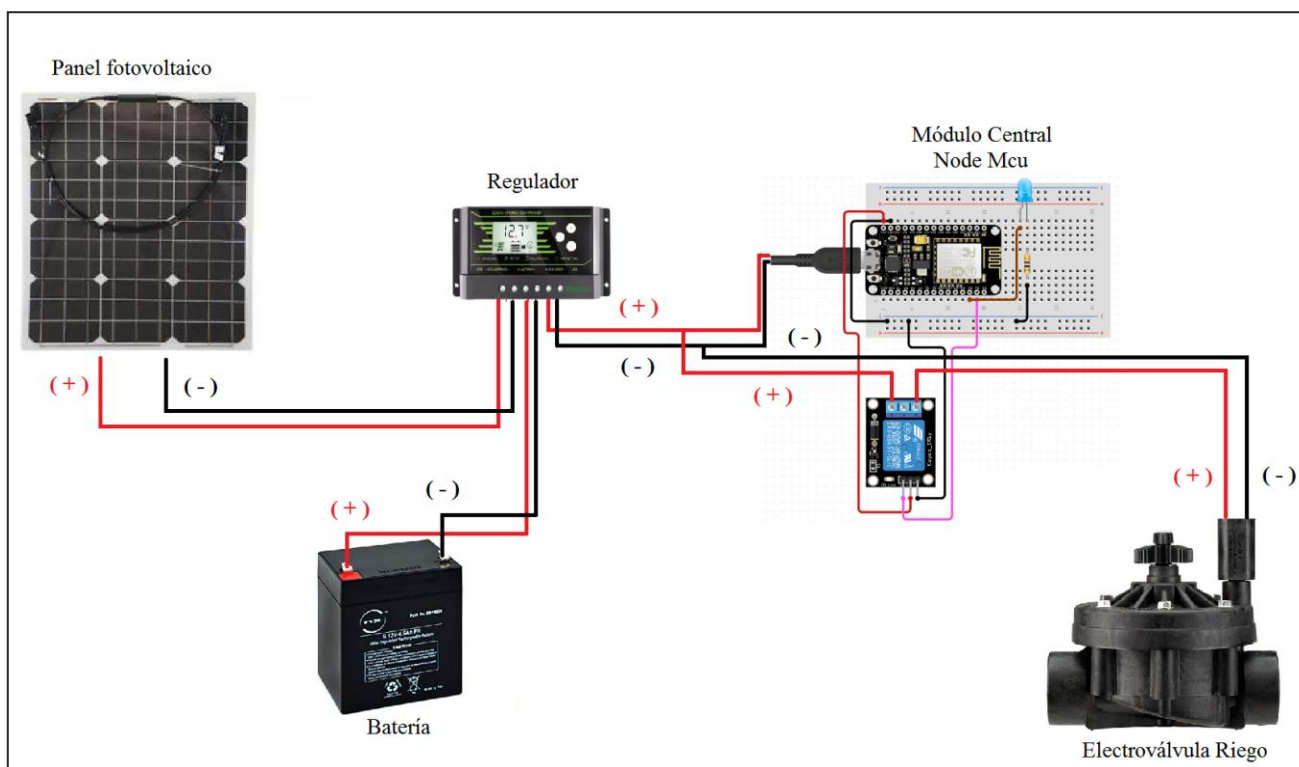
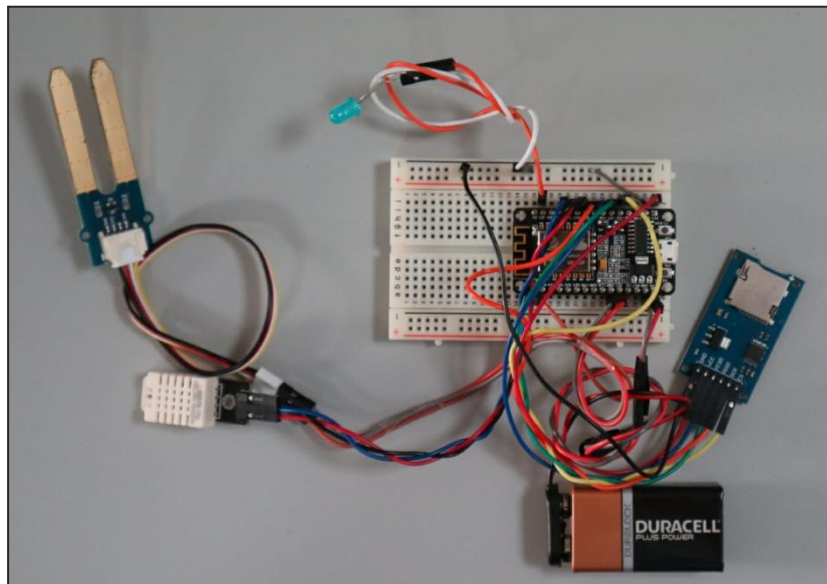


Ilustración 18. Esquema de conexiones Módulo Central.

Fuente: Elaboración Propia.





**Ilustración 20. Esquema de conexiones Módulo Central prueba.**

**Fuente: Elaboración Propia.**



**Ilustración 21. Versión 1.0 Módulo Remoto funcional.**

**Fuente: Elaboración Propia.**

## **Capítulo 7. Conclusiones.**

Tras la realización de este proyecto se han llegado a las siguientes conclusiones.

- El mundo se encuentra en un contexto generalizado de escasez de agua dulce que afecta seriamente a la agricultura y a la seguridad alimentaria, especialmente en las zonas más desfavorecidas o con escasez de recursos.
- El sector agroalimentario está sumido en un proceso de innovación y digitalización, este desarrollo tecnológico revierte en un manejo más eficiente de los recursos naturales.
- Las comunidades Aymaras localizadas en el Altiplano Boliviano presentan grandes necesidades relacionadas con la falta de tecnificación en el manejo de recursos hídricos.
- El diseño de un prototipo capaz de automatizar la operación de riego por goteo en carpas solares consigue realizar una primera aproximación al manejo eficiente de los recursos hídricos mediante el uso de las nuevas tecnologías.
- El diseño de dicho prototipo puede llevarse a cabo mediante el uso de plataformas de uso libre y dispositivos de bajo coste que pueden ser adquiridos a través de plataformas de compra y distribución online.
- El uso del sistema no requiere de conocimientos previos acerca de electrónica o programación por lo que cualquier tipo de usuario puede hacer un correcto manejo del mismo.
- Se ha conseguido llevar a cabo una monitorización en tiempo real de parámetros fundamentales para la toma de decisiones mediante el diseño de una aplicación móvil basada en la plataforma de desarrollo Blynk.
- El uso de baterías y sistemas aislados de energía fotovoltaica posibilitan que tanto los Módulos Remotos como el Módulo Central sean capaces de funcionar independientemente de la disponibilidad de una red eléctrica en el entorno de uso.



## **Capítulo 8. Recomendaciones de Futuro.**

Teniendo en cuenta carácter modular y la plataforma en la que se basa el prototipo desarrollado, existen amplias posibilidades de implementar futuras mejoras con el objetivo de perfeccionar tanto el diseño como el funcionamiento del mismo. A continuación se expresan algunas recomendaciones en este sentido:

### **Optimización de la conectividad:**

Una de las variantes más interesantes de este proyecto sería explorar el uso de otras fuentes de conectividad diseñadas para su implementación en zonas aisladas. Una de las posibilidades viables sería, utilizar redes englobadas en la norma de transmisión de datos WiMAX.

Esta tecnología permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio con una cobertura de hasta 70km por antena lo que la haría idónea para el contexto en el que se desarrolla el proyecto. Se plantea por tanto un posible escenario en el que se instale una red de antenas WiMAX para poder comunicar a las diferentes comunidades entre sí. Existen otras alternativas como las redes LoRa, Sigfox o las recientes evoluciones de la red 4G adaptadas al IoT (CatM y CatMB).

En cuanto al soporte hardware la empresa Raspberry Pi también ofrece placas de computación compatibles con este tipo de comunicaciones.

### **Optimización de los Módulos Remotos:**

Aunque este es el dispositivo en el que más se ha trabajado, existe la posibilidad de incluir funciones adicionales enfocadas a la obtención de mayor cantidad de información relevante para el manejo del cultivo.

Una posibilidad sería añadir **sensores de radiación o fotorreceptores** que midan el nivel de radiación solar dentro de las carpas. Esta información podría ser de utilidad a la hora de programar un **sistema de sombreado/iluminación automatizado** ya que en función de la fase de crecimiento en la que se encuentre el cultivo, sus necesidades de radiación pueden variar. Sería también recomendable añadir un **módulo RTC** para que los datos almacenados en la tarjeta micro SD tengan un registro de hora y fecha. Otra opción sería explorar la compatibilidad entre la plataforma Arduino y **sensores de humedad más precisos** como los de electrodos concéntricos (Watermark® 200SS-5).

Cabe destacar que la placa base utilizada (Node Mcu) está restringida a una sola entrada de información analógica por lo que si se pretende añadir más sensores analógicos, se recomienda el uso de otro tipo de placas de desarrollo que incluyan el chip ESP8266.

### **Optimización del Módulo Central:**

El Módulo Central ofrece amplias posibilidades de mejora. Debido al limitado número de pines disponibles en la placa Node Mcu se recomienda que un futuro Módulo Central esté compuesto por una placa **Arduino MEGA conectada a un Node Mcu** u otro tipo de módulos ESP8266.

El Node Mcu sería el encargado de recibir la información enviada por los Módulos Remotos. A través de una comunicación serie esta información pasaría del Node Mcu a la placa Arduino MEGA donde el rango de posibilidades se amplía debido al elevado número de pines digitales y analógicos.

Algunas de las futuras mejoras pueden ir enfocadas al **display de datos** (Pantalla LCD, OLED, etc.), al **almacenamiento** de información (Módulo SD/Micro SD) o a la implementación de **señales de alerta** (Sondas de nivel en el depósito de riego, alarmas sonoras, LED's de alerta, etc.)

### **Análisis de necesidades específicas del cultivo**

El análisis exhaustivo de las necesidades específicas de cada cultivo, contribuirá a mejorar el prototipo revirtiendo en un mayor precisión a la hora realizar la toma de decisiones.

### **Optimización energética del prototipo:**

Mediante el perfeccionamiento de la circuitería empleada tanto en los Módulos Remotos como en el Módulo Central puede reducirse el consumo energético y por consiguiente el dimensionamiento de las fuentes de suministro.

Sería interesante plantear una fuente de alimentación alternativa a las pilas de 9V empleadas en los Módulos Remotos. Podrían incluirse baterías recargables conectadas pequeñas células fotovoltaicas que se colocarían sobre la carcasa del módulo.

### **Optimización del sistema de riego por goteo:**

Podría rediseñarse el sistema de riego por goteo para dirigirse a un modelo de riego localizado o de precisión. Los Módulos Remotos permiten tomar las variables de una determinada parcela por lo que el riego podría sectorizarse en función de las necesidades específicas de las mismas, cada Módulo Remoto sería el encargado de activar o desactivar la electroválvula que controla el flujo de agua en su parcela.

### **Optimización de la aplicación móvil:**

Sería conveniente añadir funcionalidades extras enfocadas a la toma de decisiones en tiempo real (apertura o cierre de la electroválvula, encendido apagado del sistema, etc.). Sería también conveniente incluir sistemas de alerta sobre posibles problemas de conectividad, mal funcionamiento del prototipo, etc.



## **Bibliografía Referenciada.**

1. FAO. (2018). Coping with water scarcity. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/016/i3015e/i3015e.pdf>
2. FAO. (2017). A global framework for action in a changing climate. Retrieved from: <http://www.fao.org/3/a-i6459e.pdf>
3. CEPAL (2000). INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTION DEL AGUA EN BOLIVIA. Retrieved from: <https://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inbo00100.pdf>
4. FAO. (2018). El Marco de Programación de País, Bolivia. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bp511s.pdf>
5. UNESCO. (2014). Water for People Water for Life. Retrieved from: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>
6. Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) (2018) Censo. Retrieved from: <https://www.unfpa.org/es/censos>.
7. World Bank (2018) WATER RESOURCES MANAGEMENT. Retrieved from: <http://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>.
8. Del Val J.L. (2017) Industria 4.0: la transformación digital de la industria. Retrieved from: <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
9. Manufacturing.net, 2016, John Deere On Bringing The IoT To The Farm Retrieved from: <https://www.manufacturing.net/news/2016/05/johndeere-bringing-iot-farm>
10. Digital Transformation Monitor (2017) Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects. Retrieved from: [file:///F:/TFG/Referencias/Nuevas%20Referencias/DTM\\_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf](file:///F:/TFG/Referencias/Nuevas%20Referencias/DTM_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf)
11. Arduino - Home. (2018). Retrieved from: <https://www.arduino.cc/>
12. Moltchanov D. (2013). Retrieved from: <http://www.cs.tut.fi/kurssit/ELT-53206/lecture01.pdf>
13. EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. (2016). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>

14. GUIA DEL CULTIVO DE LECHUGA EN INVERNADERO. (2017). Retrieved from <https://intiasa.es/repositorio/images/docs/GUIALECHUGA0.pdf>
15. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR, Experiencias en América Latina. (2018). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
16. Orzolek, M. (2008). Lettuce Production Systems in High Tunnels. Retrieved from <http://www.hort.cornell.edu/expo/proceedings/2012/Winter%20Greens/Winter%20Greens%20Orzolek.pdf>
17. United Nations. (2011). PREPARACIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN COMUNIDADES ALTIPLANICAS. Retrieved from <http://www.fao.org/3/as968s.pdf>
18. Vagulabranan, R. (2018). Automatic Irrigation System on Sensing Soil Moisture Content. Retrieved from <https://irjet.net/archives/V3/i3/IRJET-V3I340.pdf>
19. Waaijenberg, D. (2018). Design, Construction and Maintenance of Greenhouse Structures. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/19511>





## Anexo Valoración Económica.

La totalidad de los elementos que conforman el prototipo pueden ser adquiridos a través de plataformas de compra online (Amazon, Aliexpress, etc.). Otros elementos como la batería y el cableado de sistema aislado de alimentación fotovoltaica podrán ser adquiridos en tiendas físicas como productos seminuevos, esto abarataría considerablemente los costes.

Las Tabla 10 y 11 muestran, de manera desglosada, el coste de los componentes que conforman tanto los Módulos Remotos como el Módulo Central, facilitando además un enlace web de compra a modo de referencia.

Los precios son en cualquier caso orientativos, pudiendo variar en función de la entidad distribuidora.

Tabla 10. Valoración económica prototipo. Módulos Remotos

Dispositivo	Componentes	Precio (€) / Und.	Und.	Precio (€)	Precio (Bs)	Enlace
<b>Módulo Remoto</b>	<b>NodeMCU ( ESP8266 )</b>	2,96	6	17,76	143,50	<a href="https://bit.ly/2MPPhF3">https://bit.ly/2MPPhF3</a>
	<b>Sensor Humedad del Suelo SKU:SEN0114</b>	0,58	6	3,48	28,12	<a href="https://bit.ly/2z9QR2N">https://bit.ly/2z9QR2N</a>
	<b>DHT 22</b>	2,08	6	12,48	100,84	<a href="https://bit.ly/2NuhaUu">https://bit.ly/2NuhaUu</a>
	<b>Base para baterías (9V)</b>	0,10	6	0,60	4,85	<a href="https://bit.ly/2KCXTCn">https://bit.ly/2KCXTCn</a>
	<b>Protoboard (30 filas)</b>	1,25	6	7,50	60,60	<a href="https://bit.ly/2KC99iw">https://bit.ly/2KC99iw</a>
	<b>Led</b>	0,08	6	0,48	3,88	<a href="https://bit.ly/2IUjwzp">https://bit.ly/2IUjwzp</a>
	<b>Micro SD module</b>	0,42	6	2,52	20,36	<a href="https://bit.ly/2MOuZvW">https://bit.ly/2MOuZvW</a>
	<b>Micro SD (6G)</b>	4,00	6	24,00	193,92	<a href="https://bit.ly/2tXYEvm">https://bit.ly/2tXYEvm</a>
	<b>Cableado</b>	0,30	6	1,80	14,54	<a href="https://bit.ly/2NsnoUI">https://bit.ly/2NsnoUI</a>
<b>Total</b>				<b>70,62</b>	<b>570,61</b>	

Tabla 11. Valoración económica prototipo. Módulo Central.

Dispositivo	Componentes	Precio (€) / Und.	Und.	Precio (€)	Precio (Bs)	Enlace
<b>Módulo Central</b>	<b>NodeMCU ESP8266</b>	2,96	1	2,96	23,92	<a href="https://bit.ly/2MPPhF3">https://bit.ly/2MPPhF3</a>
	<b>Protoboard (30 filas)</b>	1,25	1	1,25	10,10	<a href="https://bit.ly/2KC99iw">https://bit.ly/2KC99iw</a>
	<b>Válvula Solenoide</b>	13,00	1	13,00	105,04	<a href="https://bit.ly/2zcUULT">https://bit.ly/2zcUULT</a>
	<b>Módulo Relé</b>	1,88	1	1,88	15,19	<a href="https://bit.ly/2MR7e6f">https://bit.ly/2MR7e6f</a>
	<b>Panel Fotovoltaico (50w/12v)</b>	68,75	1	68,75	555,50	<a href="https://bit.ly/2KQyZeG">https://bit.ly/2KQyZeG</a>
	<b>Regulador</b>	8,00	1	8,00	64,64	<a href="https://bit.ly/2KOfH9S">https://bit.ly/2KOfH9S</a>
	<b>Batería (12v/40Ah)</b>	52,00	1	52,00	420,16	<a href="https://amzn.to/2KNNzGZ">https://amzn.to/2KNNzGZ</a>
	<b>Cableado</b>	1,80	1	1,80	14,54	<a href="https://bit.ly/2NsnoUI">https://bit.ly/2NsnoUI</a>
<b>Total</b>				<b>149,64</b>	<b>1209,09</b>	

El coste total del prototipo completo (6 Módulos Remotos y un Módulo Central) rondaría los 220 € / 1800 Bs. La implementación del prototipo aumentaría en un 20% el presupuesto inicial para la construcción de cada una de las carpas solares (sistema de riego por goteo incluido) que se ha estimado en 840€ / 6720Bs.

## Anexo Distribución Pines.

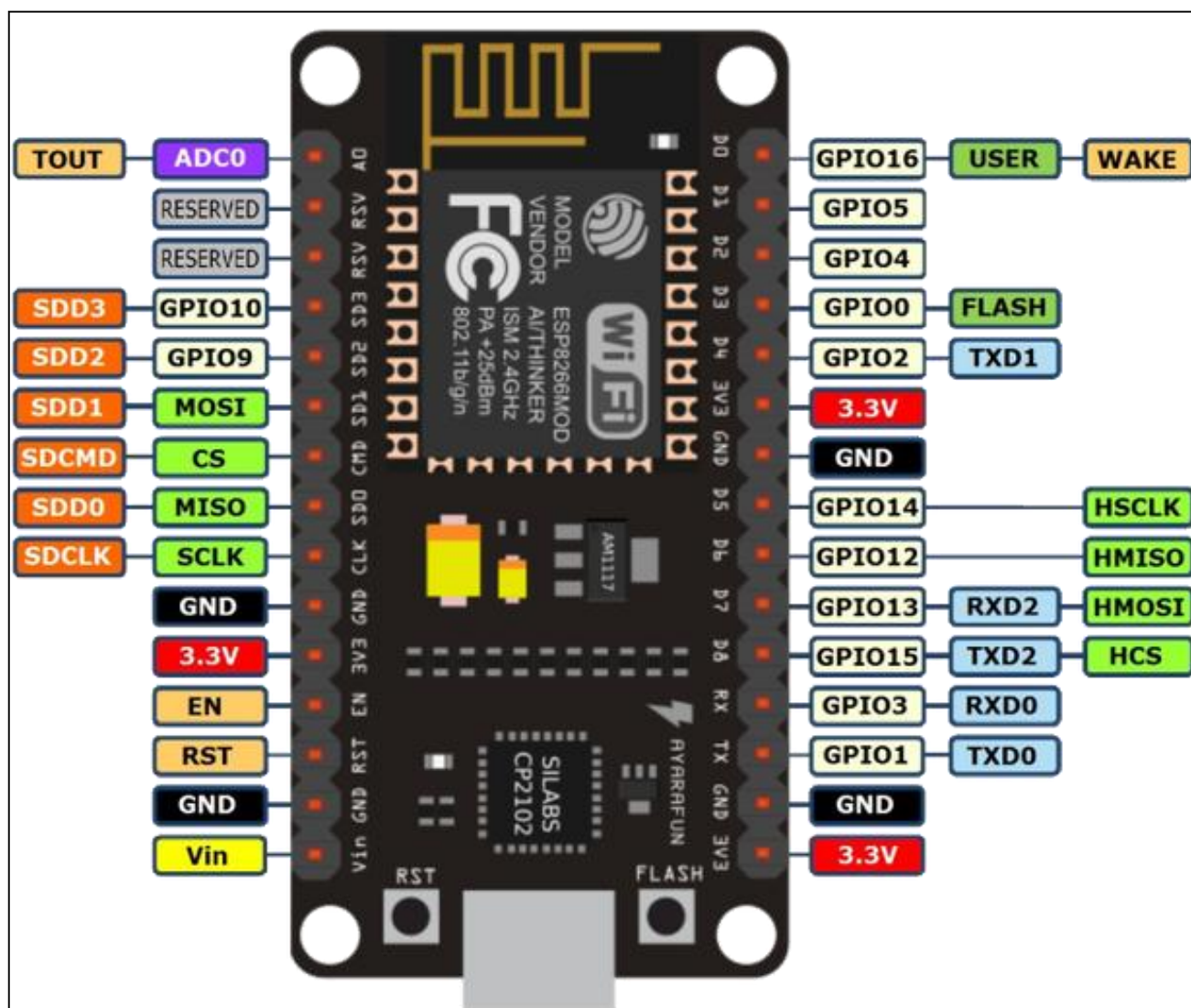


Ilustración 22. Distribución de pines Node Mcu ESP8266.

Tabla 12. Pines utilizados en Módulos Remotos Node Mcu.

Elemento	Pin Elemento	Pin Node Mcu	Protoboard
		3v3	+
		GND	-
<b>DHT22.</b>	VCC (+)		+
	GND (-)		-
	DATA (OUT/SIG)	D4 (GPIO2)	
<b>SKU:SEN0114.</b>	VCC (+)		+
	GND (-)		-
	DATA (OUT/SIG)	A0 (ADC0)	
<b>Módulo Micro SD.</b>	VCC (+)		+
	GND (-)		-
	MISO	D6 (GPIO12/HMISO)	
	MOSI	D7 (GPIO13/HMOSI)	
	SCK	D5 (GPIO14/HSCCLK)	
	CS	D8 (GPIO15/HCS)	
<b>LED.</b>	-	GND	-
	+	D1 (GPIO5)	
<b>Batería 9V.</b>	+	VIN	
	-	GND	

Tabla 13. Pines utilizados en Módulo Central Node Mcu

Elemento	Pin Elemento	Pin Node Mcu	Protoboard
		3v3	+
		GND	-
<b>Módulo Relé</b>	VCC (+)		+
	GND (-)		-
	DATA (OUT/SIG)	D1 (GPIO5)	
<b>LED</b>	-	GND	-
	+	D2 (GPIO4)	
<b>Conexión Regulador</b>	+	VIN	
	-	GND	

## **Anexo Fotográfico.**



**Altiplano. Vista desde el cerro Calamarca dirección Oruro**



**Valle con siembra de “papa” próximo a la comunidad de Jucuri**





**Altiplano. Parcela destinada al cultivo de “papa”, próxima a la comunidad de Tuni.**



**Carpas Solares. Cultivo de lechuga romana crespa y espinacas.**



**Carpas solares. Cultivo de lechuga Romana.**



**Carpas Solares. Sistema de riego por goteo, comunidad de Kella Kella.**



**Carpas Solares. Carpas en diferentes estadios del proceso constructivo, detalle de depósito elevado.**



**Carpas Solares. Construcción de carpa solar a partir de bloques de adobe**





**Carpas Solares. Caudalímetro sistema de abastecimiento de agua comunidad de Tuni**



**Comunidades. Comunidad de Calamarca, la más poblada de la región.**



**Comunidades. Redil a base de adobe y totora.**





**Comunidades. Llama, camélido oriundo de la zona empleado como ganado.**



**Ganado bovino, vacas frisona/holstein destinadas a la producción de leche**



**Comunidades. Comunidades. Comida comunal, fin de la jornada**



**Comunidades. Mujeres reunidas en la plaza central, Comunidad de Jucuri.**



**Reunión comunal Kella Kella.**



**Comunidades. Mujeres tejedoras en comunidad de Achocalla.**





**Acerbo Cultural. Ofrenda floral en comunidad de Tuni.**



**Acerbo Cultural. Entrega de reconocimiento en comunidad de Tuni.**



**Acerbo Cultural. Inauguración red de distribución agua potable, Celebración comunidad Tuni.**

## Anexo Códigos

Tanto el presente documento como los códigos de programación se encuentran disponibles en la plataforma web GitHub, repositorio UCOAutomaticPlantIrrigation con el objetivo de que cualquier usuario interesado pueda acceder a él y modificarlo en función de sus necesidades.

Enlace: <https://github.com/JCasteCorvi/UCOAUTOMATICPLANTIRRIGATION>

### Módulos Remotos Node MCU.

```

/*****
El código que se expone a continuación corresponde a Módulos Remotos
compuestos por un Node Mcu (ESP8266) encargados de obtener datos de:
    1º Humedad del aire (%).
    2º Temperatura (°C).
    3º Humedad del suelo (%).
Toda la información recopilada por el módulo podrá ser visualizada a
través de la app móvil Blynk (http://www.blynk.cc)

Blynk setup:
Mostrar valores asociados a V5 (Humedad del aire)
Mostrar valores asociados a V6 (Temperatura del aire)
Mostrar valores asociados a V7 (Humedad del suelo)
*****/
// Realizar este comentario para evitar comunicación serial de la app
// Blynk con el Node Mcu.

#define BLYNK_PRINT Serial

/*****
*****/
/*****Librerías Incluidas*****/
/*****

#include <SD.h> // Tarjeta SD
#include <SPI.h> // Tarjeta SD
#include <ESP8266WiFi.h> // Node Mcu
#include <BlynkSimpleEsp8266.h> // APP Blynk (Consulta sensores)
#include <SimpleTimer.h> // Temporizador
#include <DHT.h> // Sensor DHT Temperatura y humedad

// Código de autenticación proporcionado por la aplicación Blynk
// APP Blynk -> Project -> Project Settings -> Auth Tokens -> Copy
// all.

char auth[] = "8aec67bed21d4c2b86a69256297ef3a1";

// SSID y contraseña de la red WiFi a utilizar
// Si se trata de una red de uso libre pass[] = ""

char ssid[] = "Q6JAVIER";
char pass[] = "1234567890";
// char pass[] = "";

```

```

#define SD_PIN 15 // SD conectada al pin digital 15 (D8) del Node
//Mcu.

// Definir el tipo de sensor Temperatura y Humedad que se está
// utilizando y su pin
//#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22, AM2302, AM2321
//#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21, AM2301
#define DHTPIN 2 // Sensor DHT conectado al PIN 2 (D4) del Node Mcu.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
SimpleTimer timer;

int sense_Pin = 0; // Sensor de humedad del suelo conectado al PIN 0
// (A0)
int value = 0; // Definimos val=0 para obtener posteriormente los
// valores de lectura del sensor de humedad del suelo,
int led = 5; // Led situado en el pin digital 5 (D1)

WiFiServer server(80); // Definimos al Módulo Remoto como Servidor.

void setup()
{
    Serial.begin(9600); // Esta conexión debe coincidir con la del
// monitor serial.
    WiFi.disconnect(); // El Módulo Remoto se conecta a la red WiFi
    delay(3000);
    WiFi.begin("Q6JAVIER","1234567890");
    while ((!(WiFi.status() == WL_CONNECTED))){
        delay(300);
    }
    Serial.println("Módulo Remoto Conectado");
    Serial.println(WiFi.localIP().toString());

    server.begin(); // Se ordena al servidor escuchar peticiones
// entrantes
    // Verificación de que la tarjeta SD está conectada
    Serial.print("Inicialización Tarjeta SD...");
    if (!SD.begin(SD_PIN)) {
        Serial.println("Verificar que la tarjeta SD esté presente");
        return;
    }
    //Si llega a este punto es que la SD ha sido reconocida
    Serial.println("Tarjeta inicializada.");
    Blynk.begin(auth, ssid, pass); // Autenticación Blynk
    dht.begin(); // Inicialización sensor DHT
    pinMode(led, OUTPUT);
    delay(2000);
    // Cada 1000 ms (1s) ejecutar void sendSensor
    timer.setInterval(1000L, sendSensor);

void loop()
{
    Blynk.run(); // Inicializamos la APP Blynk
    timer.run(); // Inicializamos SimpleTimer
    // Recopilación de datos (Temperatura y Humedad del Aire)
    // parte del sensor DHT 22 y muestra de los mismos en el
    // monitor serial.
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();
    Serial.print("Humedad del Aire = ");

```

```

Serial.print(h);
Serial.println("% ");
Serial.print("Temperatura = ");
Serial.print(t);
Serial.println("°C ");
// Recopilación de datos por parte del sensor de Humedad
// del Suelo. y muestra de los mismos en el monitor serial.
Serial.print("Humedad del Suelo : ");
value= analogRead(sense_Pin);
value=(value/6);
// El sensor muestra datos entre 0 (totalmente seco) y 600
// (agu)por lo que para expresar los datos en % entre
// 0 y 100 dividimos los datos "vírgenes" entre 6
Serial.print(value);
Serial.println("% ");
// Guardamos los valores de temperatura, humedad y humedad
// de suelo en la tarjeta micro SD
File dataFile = SD.open("SD.txt", FILE_WRITE);
// Si el archivo ha sido abierto correctamente se escriben
// los datos en el
if (dataFile) {
    Serial.println("Apertura de archivo correcta");
    dataFile.print(h);
    dataFile.print(" | ");
    dataFile.println(t);
    dataFile.print(" | ");
    dataFile.println(value);
    //Despues de copiar los datos, se cierra el archivo
    dataFile.close();
}

else {
    Serial.println("No puede abrirse el archivo SD.txt");
}

delay(2000);
// Parpadeo del LED que indica el correcto funcionamiento del
// Módulo Remoto
digitalWrite(led, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(led, LOW);
delay(1000);

// El código inferior es el encargado de responder al Módulo Central
// (Cliente un mensaje que contenga el valor de humedad del suelo
// medido por el sensor de Módulo Remoto (Server)
WiFiClient client = server.available();
if (!client) { return; }
while(!client.available()){ delay(1); }
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("");
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
client.println(analogRead(A0));
client.println("</html>");
client.stop();
Serial.print(analogRead(A0));
delay(5000);
}

```

```

// Esta función (void sendSensor) será la encargada de enviar los
// valores de lectura de los sensores a los pines virtuales de la
// app Blynk (V5, V6, V7). En la aplicación puede escogerse la
// frecuencia con la que se desean recibir estos datos

void sendSensor()
{
  // Recopilación de datos por parte del sensor DHT 22 que mide
  // Humedad del Aire y Temperatura.
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature(); // o dht.readTemperature(true)
                                   // para grados Fahrenheit
  value= analogRead(sense_Pin);
  value=(value/6); // El sensor muestra valores entre 0 (totalmente
                  // seco) y 600 (agua) por lo que para expresar
                  // los datos en % dividimos los datos "vírgenes"
                  // entre 6

  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("Error al leer el sensor DHT!");
    return;
  }
  //
  // No es recomendable mandar más de 10 valores por segundo
  Blynk.virtualWrite(V5, h);
  Blynk.virtualWrite(V6, t);
  Blynk.virtualWrite(V7, value);
}

```

## Módulo Central.

```

/*****
/ El código que se expone a continuación corresponde al Módulo Central
/ compuesto por un Node Mcu (ESP8266) y encargados de actuar sobre la
/ electroválvula que regula el flujo de agua a través del sistema
/ riego por goteo.
*****/

/*****
*****Librerías Incluidas*****
*****/

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>

int ValvleLEDPin = 6; // Led que indica el funcionamiento de la
                      // electroválvula
int ValvlePin = 7;    // Pin al que está conectado el módulo relé
                      // que controla la electroválvula.

// Comunicación CLIENT-SERVER//
String i;
long HumedadSuelo;
String httpurl;
String TheHiddenAnswerOfClient;
HTTPClient http;
String SendWithAnswer(String IPcache, String monmessagecache) {
httpurl = "http://";
httpurl+=IPcache;
httpurl+="/";
httpurl+=monmessagecache;
http.begin(httpurl);
http.GET();
TheHiddenAnswerOfClient = (http.getString());
http.end();
return TheHiddenAnswerOfClient;
}

void setup()
{
  i = "";
  HumedadSuelo = 0;
  Serial.begin(9600);
  WiFi.disconnect();
  delay(3000);
  WiFi.begin("Q6JAVIER","1234567890");
  while ((!(WiFi.status() == WL_CONNECTED))){
    delay(300);
  }

  Serial.println("Connected");
  pinMode(ValvleLEDPin, OUTPUT);
  pinMode(ValvlePin, OUTPUT);
}

void loop()
```



```

{
  i = (SendWithAnswer("192.168.43.196","Yes"));
  // Mensaje "virgen"
  Serial.println(" Valor Humedad de suelo antes de aclarar");
  Serial.println(i);
  // Mensaje limpio, solo muestra el valor del contenido de
  // humedad de suelo.
  Serial.println("Después de Aclarar");
  i.remove(0, 25);
  i.remove(i.length()-11,11);
  Serial.println(i);
  // Transformamos el texto en Integer para convertirlo en un
  // valor con el que operar
  HumedadSuelo = i.toInt();
  Serial.println((HumedadSuelo / 6));
  // El sensor muestra datos entre 0 (totalmente seco)
  // y 600 (agua) por lo que para expresar los datos en
  // % entre 0 y 100 dividimos los datos "vírgenes" entre
  // 6 y mostramos el resultado en el monitor serial.
  if (HumedadSuelo <= 350) { // Suelo Seco,
                          // activar electroválvula
    Serial.print ("Suelo Seco // ");
    digitalWrite(ValvlePin, LOW);
    // El módulo relé presenta una lógica inversa
    // LOW = Dispositivo conectado funcionando
    // HIGH = Dispositivo conectado apagado
    digitalWrite(ValvleLEDPin, HIGH);
  }
  else {
    Serial.print ("Suelo en Buen Estado // ");
    // Suelo en buen estado, desactivar
    // electroválvula
    digitalWrite(ValvlePin, HIGH);
    digitalWrite(ValvleLEDPin, LOW);
  }
  delay(5000);
}

```

