

AQUA SMART



GUÍA PARA
ESTUDIANTES: RIEGO
INTELIGENTE

Autoría: Gabriela Ledezma Hidalgo

Presentación

En esta guía, ¿Qué hallarás?

Este proyecto fue en colaboración a Yachay Chhallaku, PBACC (Plataforma de Acción Frente al Cambio Climático), Hábitat para la Humanidad Bolivia, AHK (Deutsch-Bolivianische Industrie-und Handelskammer), y financiado por la Unión Europea.

Innovación, tecnología y soluciones sostenibles para enfrentar la crisis hídrica en Sacaba. Este proyecto ha sido desarrollado por Gabriela Guadalupe Ledezma Hidalgo, con el objetivo de demostrar cómo las áreas STEM pueden ayudar a resolver problemas reales de la comunidad.

Aquí encontrarás una propuesta de riego automatizado e inteligente, basada en ESPEN8266, sensores de humedad, temperatura del suelo y ambiente, acuaponía e hidroponía, diseñada para optimizar el uso del agua y mejorar la producción de alimentos en huertos familiares y escolares.

Además, conocerás cómo la tecnología puede integrarse con la agricultura sostenible mediante sistemas automatizados, reutilización del agua y monitoreo inteligente. Este proyecto también busca inspirar a más jóvenes a interesarse por carreras STEM, mostrando que la ciencia, la programación y la electrónica pueden generar un impacto positivo en la sociedad.

Finalmente, se incluyen ideas, estrategias y propuestas educativas orientadas a promover el cuidado del agua, la innovación tecnológica y el trabajo comunitario como herramientas para construir un futuro más sostenible



Innovación sostenible frente a



la crisis hídrica

Introducción

Sacaba enfrenta una crisis hídrica histórica. En 2023 se registraron las precipitaciones más bajas en 73 años, lo que ha dejado las lagunas principales de abastecimiento apenas al 20–30 % de su capacidad y 15 de los 50 pozos profundos secos. Esta escasez ya impacta fuertemente: se estima que afectará a 30.000 familias entre julio y septiembre 2023. Ante ello, el Comité de Operaciones de Emergencia Municipal (COEM) declaró Estado de Emergencia Municipal por falta de agua para consumo y riego. En la práctica, se aplica racionamiento: al menos 40 barrios reciben agua dos o tres veces por semana y se distribuye por turnos y camiones cisterna



Esta situación compromete la producción alimentaria local. Sacaba es el segundo municipio más poblado de Cochabamba (≈ 218.500 hab. en 2024) y el principal productor de papa del departamento (835.197,7

quintales en 2013), además de avena (23.925,2 q.) y maíz (16.067,4 q.). Sin embargo, la sequía amenaza cultivos de subsistencia (maíz, hortalizas, papa) y ferias agrícolas como la Feria del Choclo: ya se prevé que 8.000 familias de 30 asociaciones de regantes se verán afectadas, poniendo en duda incluso actividades agrícolas tradicionales. Como muestra de adaptación local, el vivero municipal de Chimboco implementó un sistema hidropónico de lechugas que produce 1.200 plantas en 45 días usando solo 1.000 L de agua, demostrando que tecnologías eficientes ya pueden multiplicar cultivos con menos recurso hídrico.



Frente a esta realidad, surge “Aqua Smart” como una propuesta que combina tecnología, automatización y sostenibilidad para optimizar el uso del agua. El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de riego automatizado e inteligente que integra herramientas STEM como Arduino, sensores de humedad, acuaponía, hidroponía y monitoreo digital. La finalidad es lograr cultivos más eficientes utilizando mucha menos agua que los métodos tradicionales de riego.

Además, Aqua Smart busca demostrar que la tecnología puede convertirse en una herramienta capaz de resolver problemas reales dentro de la comunidad. A través de sensores y sistemas automatizados, el agua puede ser utilizada únicamente cuando las

plantas realmente lo necesiten, evitando desperdicios y mejorando el rendimiento agrícola. Del mismo modo, la integración de acuaponía e hidroponía permite reutilizar el agua y aprovechar nutrientes naturales para fortalecer la producción de alimentos de manera más ecológica y sostenible.

Este proyecto también tiene un enfoque educativo y social, ya que busca incentivar el interés de los jóvenes por las áreas STEM, demostrando que la programación, la electrónica y la innovación tecnológica no solamente pertenecen a laboratorios o grandes empresas, sino que también pueden aplicarse para ayudar a las comunidades y mejorar la calidad de vida de las personas.

Finalmente, Aqua Smart representa una propuesta orientada al futuro, donde la tecnología y el cuidado ambiental trabajan juntos para enfrentar la crisis hídrica, fortalecer la producción agrícola y promover soluciones sostenibles que puedan beneficiar tanto a Sacaba como a otras comunidades que enfrentan problemas similares de escasez de agua.

Actores involucrados

El proyecto Aqua Smart involucra a distintos actores sociales, educativos, tecnológicos e institucionales que cumplen un papel fundamental en el desarrollo, implementación y sostenibilidad del sistema de riego automatizado. Cada uno de estos sectores participa de manera directa o indirecta en la búsqueda de soluciones frente a la crisis hídrica que afecta al municipio de Sacaba y a muchas comunidades rurales y periurbanas de Cochabamba. La colaboración entre todos estos actores permitirá no solamente implementar tecnología, sino también fortalecer la educación ambiental, la innovación y el trabajo comunitario.

- **Agricultores y regantes**

Uno de los actores más importantes dentro del proyecto son los agricultores y las asociaciones de regantes de Sacaba. Aproximadamente 8.000 familias dependen directamente de la agricultura para subsistir, produciendo alimentos como papa, maíz, avena y distintas hortalizas que abastecen tanto a mercados locales como al consumo familiar. Muchas de estas familias trabajan en pequeñas parcelas o huertos familiares donde el acceso al agua es limitado y los métodos de riego tradicionales generan un gran desperdicio hídrico.

La sequía y la reducción de las precipitaciones afectan directamente la producción agrícola, disminuyendo el rendimiento de los cultivos y aumentando el riesgo de inseguridad alimentaria. Además, la falta de

agua impacta en la economía de las familias agricultoras, ya que muchas dependen de la venta de productos agrícolas para cubrir necesidades básicas como alimentación, educación y salud.

Dentro del proyecto Aqua Smart, los agricultores serán beneficiarios directos del sistema de riego automatizado. A través de sensores de humedad, sistemas de goteo y monitoreo digital, podrán optimizar el uso del agua y mejorar el cuidado de sus cultivos. Asimismo, recibirán capacitaciones sobre el uso del sistema, mantenimiento básico de sensores y buenas prácticas de agricultura sostenible. Su participación también será importante para evaluar el funcionamiento del proyecto en condiciones reales y aportar sugerencias para mejorar el sistema según las necesidades de cada comunidad.



- **Familias y comunidad local**

Las familias de Sacaba y las comunidades periurbanas representan otro grupo fundamental dentro del proyecto. Muchas viviendas enfrentan problemas diarios relacionados con el acceso al agua potable y el abastecimiento para huertos familiares. Debido a los racionamientos y a la distribución por cisternas, muchas personas deben almacenar agua y administrarla cuidadosamente durante la semana.

Aqua Smart busca beneficiar a estas familias mediante la implementación de sistemas automatizados accesibles y de bajo costo que permitan ahorrar agua y producir alimentos en espacios pequeños. Además del componente tecnológico, el proyecto tiene un enfoque educativo y comunitario que busca generar conciencia sobre el cuidado del agua, el reciclaje y la sostenibilidad ambiental.

La comunidad también participará mediante jornadas de limpieza de acequias, actividades ambientales y monitoreo de los huertos implementados. La creación de redes de voluntarios permitirá fortalecer el trabajo colaborativo y asegurar que el sistema pueda mantenerse y expandirse a otras zonas en el futuro.



Instituciones educativas y estudiantes

Las escuelas, colegios e instituciones educativas tienen una participación esencial dentro de Aqua Smart debido a que el proyecto posee un fuerte componente educativo y tecnológico. Los huertos escolares automatizados permitirán que estudiantes aprendan de manera práctica sobre programación, electrónica, sostenibilidad y agricultura inteligente.

A través de talleres y actividades didácticas, los estudiantes podrán aprender a utilizar sensores de humedad, sistemas de automatización, plataformas web y herramientas digitales relacionadas con STEM. El proyecto también busca despertar el interés de niños y jóvenes por carreras científicas y tecnológicas, demostrando que estas áreas pueden utilizarse para resolver problemas reales dentro de la comunidad.

Además, Aqua Smart incorpora elementos educativos innovadores como una plataforma web y un juego interactivo enfocado en reciclaje y sostenibilidad ambiental. Estas herramientas permiten que el aprendizaje sea más dinámico, práctico y accesible para estudiantes de diferentes edades.

Las instituciones educativas también funcionarán como espacios piloto donde se podrá demostrar el funcionamiento del sistema y capacitar a nuevas generaciones en el uso responsable del agua y de la tecnología



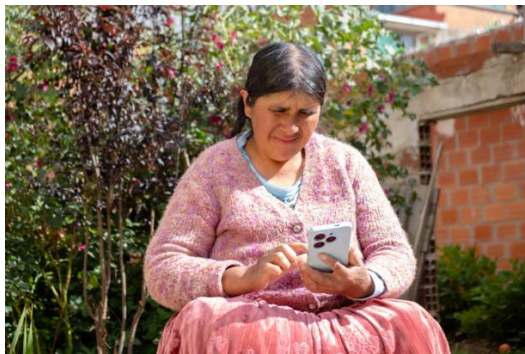
Usuarios digitales y voluntarios

Finalmente, los usuarios digitales y la red de voluntarios representan un componente esencial para el funcionamiento y sostenibilidad del

proyecto. Los usuarios podrán acceder a una plataforma web y a un bot de Telegram que permitirá monitorear el estado del sistema, recibir recomendaciones personalizadas y controlar variables relacionadas con la humedad y el riego.

Mientras tanto, los voluntarios comunitarios tendrán la función de apoyar en la instalación de sistemas, mantenimiento básico, capacitaciones y seguimiento de huertos familiares y escolares. También actuarán como promotores ambientales dentro de sus comunidades, incentivando el ahorro de agua y el uso responsable de los recursos naturales.

Gracias a la participación conjunta de todos estos actores, Aqua Smart busca convertirse en una solución integral que combine tecnología, sostenibilidad, educación y participación comunitaria para enfrentar la crisis hídrica y mejorar la calidad de vida de las familias de Sacaba.



Adultos mayores y personas con movilidad limitada

Los adultos mayores y las personas con movilidad limitada también representan un grupo importante dentro del proyecto Aqua Smart, ya que muchas veces enfrentan dificultades para realizar actividades agrícolas o de riego de manera constante debido al esfuerzo físico que

estas tareas requieren. En varias familias de Sacaba, los huertos familiares son cuidados por personas de edad avanzada o por integrantes que presentan limitaciones físicas, lo que hace más complicado transportar agua, abrir canales de riego manualmente o supervisar continuamente el estado de las plantas.

La escasez de agua agrava aún más esta situación, porque obliga a las familias a administrar cuidadosamente cada litro disponible y a dedicar más tiempo y esfuerzo a las tareas de riego. Esto puede generar cansancio físico, problemas de salud y dificultades para mantener una producción constante de alimentos en los hogares.

Aqua Smart busca ayudar a este sector mediante un sistema automatizado y accesible que reduzca la necesidad de esfuerzo físico constante. Gracias a sensores de humedad, bombas automatizadas y sistemas de riego por goteo, las plantas podrán recibir agua de manera automática cuando realmente lo necesiten, evitando que los usuarios tengan que cargar baldes, abrir manualmente llaves de paso o supervisar permanentemente los cultivos.

Además, la integración de plataformas digitales simples y herramientas como el bot de Telegram permitirá que los usuarios reciban notificaciones y recomendaciones sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados. El proyecto prioriza el diseño de herramientas fáciles de usar, con interfaces sencillas y prácticas, para que tanto adultos mayores como personas con movilidad reducida puedan utilizar el sistema de manera independiente y segura. De esta manera se promueve una tecnología inclusiva que facilite la vida de personas que muchas veces tienen menos acceso a herramientas tecnológicas o enfrentan mayores dificultades físicas en las actividades diarias.



Objetivos y estrategias

Objetivo general

El propósito principal de Aqua Smart es fortalecer la seguridad hídrica y alimentaria de Sacaba mediante el uso de tecnología sostenible, automatización e innovación aplicada a la agricultura. El proyecto busca demostrar que es posible producir alimentos de manera más eficiente utilizando menos agua, reduciendo el desperdicio hídrico y promoviendo soluciones accesibles para las familias y comunidades afectadas por la sequía.

Uno de los principales resultados esperados es lograr una mayor producción de alimentos utilizando una menor cantidad de agua. Gracias a la integración de acuaponía, hidroponía y riego automatizado,



los huertos familiares y escolares podrán producir hortalizas frescas y peces de manera sostenible incluso durante épocas de sequía. La reutilización constante del agua dentro del sistema permitirá mantener cultivos saludables sin depender de grandes volúmenes de agua como ocurre en la agricultura tradicional.

Asimismo, se espera reducir significativamente el trabajo manual relacionado con el riego y mantenimiento agrícola. El sistema automatizado permitirá que el riego funcione de manera autónoma mediante sensores y programación inteligente, evitando que los usuarios tengan que supervisar constantemente los cultivos o realizar tareas físicas pesadas. Esto beneficiará especialmente a agricultores, adultos mayores y personas con movilidad limitada, quienes podrán mantener sus huertos con mayor facilidad y autonomía.

Otro resultado importante será la mejora de la calidad del agua y el cuidado del medio ambiente. La combinación de peces, bacterias nitrificadoras, plantas y microalgas permitirá purificar y reutilizar el agua continuamente, disminuyendo la contaminación y reduciendo el uso de fertilizantes químicos. Además, el sistema ayudará a prevenir el desperdicio de agua por evaporación, escorrentía o exceso de riego, promoviendo prácticas agrícolas más responsables y sostenibles.

Aqua Smart también busca generar un impacto educativo y social dentro de la comunidad. A través de talleres, actividades prácticas y capacitación tecnológica, estudiantes, familias y agricultores podrán aprender sobre programación, automatización, acuaponía, hidroponía y cuidado ambiental. El proyecto pretende fomentar el interés por las áreas STEM, demostrando que la tecnología puede utilizarse para resolver problemas reales y mejorar la calidad de vida de las personas.

Del mismo modo, se espera fortalecer la conciencia ambiental y el compromiso comunitario con el cuidado de los recursos naturales. Las actividades de sensibilización permitirán que más personas comprendan la importancia del ahorro de agua, la producción sostenible de alimentos y la protección del medio ambiente frente al cambio climático y las sequías cada vez más frecuentes.

A mediano y largo plazo, Aqua Smart busca aumentar la resiliencia de Sacaba frente a futuras crisis hídricas. La implementación de sistemas automatizados y sostenibles permitirá que las comunidades puedan

mantener la producción agrícola incluso en contextos de escasez de agua, reduciendo la dependencia de métodos tradicionales poco eficientes.

Finalmente, el proyecto aspira a convertirse en una propuesta replicable en otras comunidades afectadas por la sequía, demostrando que la combinación de tecnología, innovación y sostenibilidad puede convertirse en una herramienta poderosa para enfrentar los desafíos ambientales y alimentarios del futuro. Aqua Smart representa una oportunidad para sembrar soluciones sostenibles, fortalecer la seguridad alimentaria y construir una relación más responsable entre la tecnología, el agua y la agricultura.

Implementar en Sacaba un sistema de riego automatizado e integrado llamado Aqua Smart, diseñado para optimizar el uso del agua mediante tecnologías sostenibles e inteligentes que combinen acuaponía, hidroponía y piscicultura en huertos familiares, escolares y comunitarios.

El sistema busca reducir el desperdicio hídrico, mejorar la producción de alimentos frescos y disminuir la necesidad de intervención manual constante mediante sensores, automatización y monitoreo digital. Además, pretende facilitar el acceso a la agricultura sostenible para adultos mayores y personas con movilidad limitada, promoviendo mayor autonomía, inclusión y cuidado ambiental dentro de la comunidad.

Aqua Smart también tiene como finalidad reutilizar de manera eficiente los recursos naturales mediante un ciclo integrado donde los desechos orgánicos producidos por los peces sean transformados por bacterias nitrificadoras en nutrientes para las plantas, permitiendo así un sistema ecológico, productivo y de bajo consumo de agua.

Objetivos específicos

- **Diseñar un sistema de riego automatizado e inteligente**

Desarrollar e instalar un sistema de riego por goteo automatizado utilizando Arduino, sensores de humedad, bombas de agua y módulos electrónicos que permitan gestionar el riego de manera eficiente y sin supervisión manual constante.

El sistema estará diseñado para suministrar agua únicamente cuando las plantas lo necesiten, reduciendo pérdidas por evaporación, escorrentía y exceso de riego. Además, se buscará que el diseño sea accesible, práctico y fácil de utilizar para agricultores, familias, adultos mayores y personas con movilidad limitada, facilitando su autonomía en el cuidado de huertos y cultivos.

- **Implementar un sistema de acuaponía sostenible**

Desarrollar un sistema acuapónico integrado donde peces, plantas y bacterias nitrificadoras trabajen conjuntamente dentro de un ecosistema cerrado y sostenible.

Los peces producirán desechos orgánicos ricos en amoníaco que serán transformados por bacterias beneficiosas en nutrientes esenciales para las plantas hidropónicas. Posteriormente, las plantas absorberán estos nutrientes y ayudarán a purificar el agua antes de que vuelva nuevamente al tanque de peces.

Además, se incorporarán ciertas algas y microorganismos que contribuirán al equilibrio biológico y al control natural de nutrientes dentro del sistema. Este enfoque permitirá reutilizar el agua constantemente, reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar la sostenibilidad ambiental del proyecto.

- **Utilizar la piscicultura como fuente sostenible de alimento**

Incorporar la piscicultura dentro del sistema Aqua Smart como una alternativa sostenible para la producción de proteínas destinadas a la alimentación humana.

La crianza de peces, como tilapias u otras especies adaptables, permitirá complementar la producción agrícola con alimentos nutritivos y de bajo impacto ambiental. Al mismo tiempo, los peces cumplirán un papel fundamental dentro del ciclo acuapónico, ya que sus desechos serán utilizados como fuente natural de nutrientes para las plantas.

Este objetivo busca fortalecer la seguridad alimentaria de las familias beneficiadas, promoviendo sistemas de producción más completos, ecológicos y autosostenibles.

- **Desarrollar módulos de hidroponía automatizada**

Implementar sistemas hidropónicos automatizados donde las plantas puedan crecer sin necesidad de suelo, utilizando soluciones nutritivas recirculantes y sustratos inertes como fibra de coco o perlita.

El sistema controlará automáticamente el flujo de agua y nutrientes mediante bombas, sensores y temporizadores programados, optimizando el crecimiento de las hortalizas y reduciendo significativamente el consumo de agua en comparación con métodos agrícolas tradicionales.

Además, se buscará mejorar la calidad y productividad de los cultivos mediante un control más preciso de factores como humedad, nutrientes y circulación del agua.

- **Promover la inclusión y accesibilidad tecnológica**

Diseñar herramientas y sistemas accesibles para personas adultas mayores y usuarios con movilidad limitada, reduciendo el esfuerzo físico necesario para las actividades de riego y mantenimiento agrícola.

Gracias a la automatización, los usuarios podrán controlar y supervisar el sistema mediante botones simples, plataformas web o notificaciones digitales, evitando tareas pesadas como cargar agua manualmente o abrir sistemas de riego tradicionales. De esta manera demostrar que la

tecnología también puede convertirse en una herramienta de inclusión social, mejorando la calidad de vida de personas que muchas veces tienen dificultades para participar en actividades agrícolas convencionales.

- **Capacitar a la comunidad en tecnologías STEM y sostenibilidad**

Realizar talleres y capacitaciones dirigidas a agricultores, estudiantes y miembros de la comunidad sobre el funcionamiento, mantenimiento y beneficios del sistema Aqua Smart.

Las actividades incluirán el aprendizaje de conceptos relacionados con programación, sensores, automatización, acuaponía, hidroponía y cuidado responsable del agua. También se fomentará el interés por las áreas STEM, demostrando cómo la tecnología puede aplicarse para resolver problemas reales dentro de la comunidad.

A través de estas capacitaciones se busca crear una red de usuarios y voluntarios capaces de utilizar, mantener y replicar el sistema en diferentes comunidades de Sacaba.

Estrategias y alternativas

- **Agricultura de precisión – riego por goteo automatizado**

Se diseñará un prototipo de riego automatizado utilizando tubos con goteros conectados a una bomba controlada mediante Arduino. A diferencia de los métodos tradicionales que desperdician grandes cantidades de agua, este sistema liberará agua gota a gota directamente en la raíz de cada planta, permitiendo un uso mucho más eficiente del recurso hídrico.

El sistema utilizará sensores de humedad del suelo tipo HL-69 para detectar cuándo la tierra necesita agua y activar automáticamente el riego solo en ese momento. También se implementarán temporizadores programados para evitar excesos de agua y mejorar el control del cultivo.

Además, el prototipo incluirá sensores de nivel de agua y un módulo relé de 5V encargado de activar una bomba sumergible de 12V.

Gracias a esta automatización, incluso personas sin experiencia tecnológica podrán utilizar el sistema fácilmente mediante botones simples o configuraciones básicas.

El objetivo principal de esta estrategia es ahorrar agua, reducir errores humanos, disminuir el trabajo manual constante y facilitar el cuidado de los cultivos, especialmente para adultos mayores y personas con movilidad limitada.

- **Integración acuapónica (peces + plantas)**

Se desarrollará un sistema acuapónico cerrado e integrado donde peces, plantas y bacterias nitrificadoras trabajen juntos dentro de un mismo ecosistema sostenible.

El sistema contará con un tanque de peces, como tilapias u otras especies resistentes, cuyos desechos orgánicos producirán amoníaco. Posteriormente, bacterias nitrificadoras convertirán este amoníaco en nutrientes beneficiosos para las plantas hidropónicas. Las plantas absorberán dichos nutrientes mientras ayudan a purificar el agua antes de que regrese nuevamente al tanque de peces.

Además, se incorporarán plantas acuáticas y ciertas microalgas que contribuirán al control natural de nutrientes y al equilibrio biológico del sistema. Esta integración permitirá reutilizar el agua constantemente sin desperdiciarla ni contaminar el medio ambiente.

Gracias a esta estrategia, los usuarios podrán producir simultáneamente hortalizas frescas y peces utilizando una cantidad mínima de agua, convirtiendo el sistema en una alternativa ecológica y sostenible frente a la crisis hídrica.

- **Uso de aguas grises tratadas**

Otra estrategia importante será la reutilización de aguas grises domésticas, como aquellas provenientes del lavado de ropa o actividades domésticas similares. Estas aguas serán tratadas mediante filtros naturales, plantas acuáticas y procesos biológicos antes de ingresar al sistema de riego.

El objetivo es aprovechar recursos hídricos que normalmente serían desperdiciados, aumentando así la eficiencia general del sistema y reduciendo la extracción de agua nueva.

La integración de aguas reutilizadas con acuaponía e hidroponía permitirá crear un sistema mucho más sostenible y amigable con el medio ambiente, especialmente en zonas afectadas por sequías y racionamientos constantes.

- **Tecnología IoT y monitoreo en línea**

Todo el sistema Aqua Smart estará conectado a una plataforma IoT y de monitoreo digital. Un Arduino UNO recopilará información relacionada con la humedad del suelo, el nivel de agua, la temperatura y el funcionamiento de las bombas.

Estos datos serán enviados mediante Wi-Fi a una página web, aplicación móvil o bot de Telegram, permitiendo que los usuarios monitoreen el sistema en tiempo real desde un celular o computadora.

La plataforma mostrará información como el estado del riego, niveles de humedad y alertas automáticas en caso de fallas o falta de agua. Esto facilitará la supervisión remota y permitirá actuar rápidamente ante cualquier problema sin necesidad de estar físicamente en el huerto.

Además, el monitoreo digital hará que el sistema sea más accesible y fácil de utilizar para agricultores, familias y personas con movilidad limitada.

- **Metodología participativa y educativa**

El proyecto también incorporará una estrategia social y educativa enfocada en la participación comunitaria y la concientización ambiental.

Se realizarán talleres, charlas y actividades prácticas en colegios, comunidades y huertos demostrativos para enseñar el funcionamiento del sistema Aqua Smart y promover el cuidado responsable del agua.

Los participantes aprenderán conceptos relacionados con programación, automatización, acuaponía, hidroponía y agricultura sostenible. También se formarán monitores voluntarios dentro de cada comunidad para ayudar en el mantenimiento básico de los sistemas y compartir conocimientos con otros usuarios.

Además, se impulsarán campañas ambientales y jornadas de limpieza de acequias, ríos y fuentes hídricas con el objetivo de fortalecer el compromiso comunitario con la protección del medio ambiente.

- **Alternativas escalonadas y accesibles**

En caso de limitaciones económicas o técnicas durante las primeras etapas del proyecto, se implementarán versiones más simples y accesibles del sistema.

Estas alternativas incluirán kits básicos de riego por goteo manual o semi-automatizado, utilizando temporizadores analógicos y bombas de agua sencillas sin conectividad digital. De esta manera, más familias podrán comenzar a utilizar tecnologías de ahorro de agua sin necesidad de realizar grandes inversiones iniciales.

También se promoverán cultivos de ciclo corto y fácil mantenimiento, como lechuga, acelga, espinaca y arveja, permitiendo obtener resultados rápidos y motivando a las familias a continuar utilizando



sistemas agrícolas sostenibles.

Estas alternativas permitirán que Aqua Smart pueda adaptarse a diferentes contextos económicos y sociales, facilitando su implementación progresiva en más hogares y comunidades.

Descripción técnica del sistema

Descripción general del funcionamiento

¿Cómo funciona Aqua Smart?

Aqua Smart es un sistema automatizado e inteligente diseñado para



optimizar el uso del agua mediante la integración de tecnologías de riego automatizado, acuaponía, hidroponía y monitoreo digital. Su funcionamiento se basa en la conexión entre sensores, módulos electrónicos, sistemas hidráulicos y plataformas digitales que trabajan conjuntamente para mantener un ecosistema agrícola eficiente, sostenible y de bajo consumo hídrico.

El sistema utiliza sensores para monitorear constantemente variables importantes como la humedad del suelo, la temperatura ambiental y el estado general del cultivo. Cuando el sensor de humedad HL-69 detecta que el suelo o sustrato se encuentra seco, envía una señal al Arduino UNO, el cual procesa la información y activa automáticamente el módulo relé de 5V. Posteriormente, el relé enciende la bomba de agua Intllab, permitiendo que el agua circule por las tuberías y goteros hacia las raíces de las plantas.

Al mismo tiempo, el sistema acuapónico permite reutilizar el agua continuamente. Los peces generan desechos orgánicos ricos en amoníaco que son transformados por bacterias nitrificadoras en nutrientes beneficiosos para las plantas. Luego, las plantas absorben dichos nutrientes mientras ayudan a purificar el agua antes de que vuelva nuevamente al tanque de peces.

Además, Aqua Smart incorpora conectividad Wi-Fi mediante el ESP8266, permitiendo monitorear el sistema en tiempo real desde una plataforma web, aplicación móvil o bot de Telegram. Gracias a esto, el usuario puede visualizar datos importantes, recibir alertas automáticas y supervisar el funcionamiento del sistema de manera remota.

Todo el sistema fue diseñado para reducir el desperdicio de agua, facilitar el trabajo agrícola y promover soluciones accesibles para familias, agricultores, adultos mayores y personas con movilidad limitada.

Proceso general del sistema

1. El sensor HL-69 detecta el nivel de humedad del suelo o sustrato.
2. La información es enviada al ESP8266 para ser procesada.
3. Si el suelo está seco, el ESP8266 activa el módulo relé de 5V.
4. El relé enciende automáticamente la bomba de agua Intllab.

5. El agua circula a través de las tuberías y goteros hasta las plantas.
6. El sistema acuapónico reutiliza el agua mediante peces, bacterias y plantas.
7. El ESP8266 envía información a la plataforma digital en tiempo real.
8. El usuario puede monitorear el sistema desde un celular o computadora.

Componentes del sistema

Componente	Función
Sensor HL-69 (Anexo 3)	Detecta la humedad del suelo o sustrato.
Sensor DHT22 (Anexo 2)	Mide temperatura y humedad ambiental.
Relé 5V (Anexo 4)	Activa o desactiva la bomba de agua automáticamente.
ESP8266 (Anexo 7)	Permite conexión Wi-Fi y monitoreo remoto.
Pantalla LCD (Anexo 1)	Muestra información del sistema en tiempo real.
Sensor infrarrojo (Anexo 6)	Detecta niveles, objetos o movimientos dentro del sistema.
Jack de alimentación (Anexo 5)	Suministra energía eléctrica al circuito.
Capacitor electrolítico radial (Anexo 9)	Estabiliza la corriente eléctrica y protege los componentes.
Bomba de líquido Intllab (Anexo 8)	Impulsa el agua a través del sistema.

Componentes hidráulicos y agrícolas

Componente	Función
Tuberías de riego	Transportan el agua hacia las plantas.
Goteros	Liberan agua de forma controlada y eficiente.
Tanque de agua	Almacena el agua utilizada en el sistema.
Sustrato	Sostiene las plantas y ayuda a conservar humedad.
Plantas utilizadas	Hortalizas como lechuga, acelga y espinaca.
Peces utilizados	Tilapias u otras especies resistentes para acuaponía.

Funcionamiento del riego inteligente

El sistema de riego automatizado funciona mediante sensores y programación inteligente que permiten suministrar agua únicamente cuando las plantas realmente lo necesitan.

El sensor HL-69 mide constantemente la humedad del suelo. Cuando detecta bajos niveles de humedad, envía una señal al Arduino UNO, el cual activa automáticamente la bomba de agua mediante el módulo relé de 5V. El agua circula por tuberías y goteros hasta llegar directamente a las raíces de las plantas, evitando desperdicios por evaporación o exceso de riego.

Cuando el sensor detecta que el suelo alcanzó niveles adecuados de humedad, el Arduino desactiva automáticamente la bomba, deteniendo el riego y optimizando el uso del agua.

Características principales

- Riego automático sin supervisión constante.
- Ahorro significativo de agua.
- Reducción de esfuerzo físico.
- Monitoreo inteligente de humedad.
- Funcionamiento eficiente y sostenible.
- Accesibilidad para adultos mayores y personas con movilidad limitada.

Sistema de acuaponía

Integración entre peces y plantas

El sistema acuapónico integra peces, bacterias nitrificadoras y plantas dentro de un ecosistema cerrado y sostenible.

Los peces generan desechos orgánicos ricos en amoníaco. Posteriormente, bacterias beneficiosas convierten este amoníaco en nitratos que sirven como nutrientes naturales para las plantas hidropónicas.

Las plantas absorben estos nutrientes mientras purifican el agua, permitiendo que esta regrese limpia nuevamente al tanque de peces. Este proceso crea un ciclo continuo de reutilización del agua y nutrientes.

Además, el sistema puede incorporar microalgas y plantas acuáticas para ayudar al control biológico y equilibrio natural del ecosistema.

- **Ciclo del agua y nutrientes**

1. Los peces producen desechos orgánicos.
2. Las bacterias nitrificadoras transforman el amoníaco en nutrientes.
3. Las plantas absorben los nutrientes.
4. El agua se purifica naturalmente.
5. El agua limpia retorna nuevamente al tanque de peces.

- **Sistema hidropónico**

Producción de cultivos sin suelo

El sistema hidropónico permite cultivar plantas sin utilizar tierra, empleando soluciones nutritivas recirculantes y sustratos inertes como fibra de coco o perlita.

Las plantas reciben nutrientes directamente a través del agua, lo que mejora su crecimiento y reduce significativamente el consumo hídrico comparado con métodos agrícolas tradicionales.

La bomba de agua mantiene la circulación constante de nutrientes dentro del sistema, asegurando un crecimiento uniforme y saludable de los cultivos.

- **Cultivos implementados**

1. Lechuga
2. Espinaca
3. Acelga
4. Arveja

5. Hierbas aromáticas

- **Plataforma digital y monitoreo IoT**

Monitoreo en tiempo real

Aqua Smart incorpora tecnología IoT mediante el módulo ESP8266, permitiendo enviar datos a internet y monitorear el sistema desde cualquier lugar.

La información recopilada por los sensores puede visualizarse mediante una plataforma web, aplicación móvil o bot de Telegram. Esto permite supervisar el funcionamiento del sistema en tiempo real y recibir alertas automáticas.

Funciones del sistema digital

- Visualización de humedad del suelo.
- Monitoreo de temperatura ambiental.
- Activación automática del riego.
- Alertas automáticas por fallas o falta de agua.
- Supervisión remota desde celular o computadora.
- Registro de datos para análisis del sistema.

Uso para adultos mayores y personas con movilidad limitada

Aqua Smart fue diseñado para facilitar el trabajo agrícola y reducir el esfuerzo físico necesario para el riego y mantenimiento de cultivos.

Gracias a la automatización, las personas no necesitarán cargar agua manualmente ni supervisar constantemente el sistema. El riego funcionará automáticamente mediante sensores y programación inteligente.

Además, las interfaces digitales serán simples y accesibles, permitiendo que adultos mayores y personas con movilidad limitada puedan utilizar el sistema de manera independiente y segura.

Beneficios del sistema

Beneficios ambientales

- Reducción del desperdicio de agua.
- Reutilización constante del agua.
- Disminución de contaminación agrícola.
- Menor uso de fertilizantes químicos.
- Protección de recursos hídricos.

Beneficios sociales

- Mejora de la seguridad alimentaria.
- Mayor accesibilidad para personas con movilidad limitada.
- Reducción del trabajo manual agrícola.
- Capacitación tecnológica para la comunidad.
- Promoción de educación STEM.

Beneficios tecnológicos

- Automatización inteligente del riego.
- Monitoreo remoto en tiempo real.
- Integración IoT mediante Wi-Fi.
- Optimización de recursos agrícolas.
- Uso de sensores y plataformas digitales.



ANEXOS



ANEXO 1

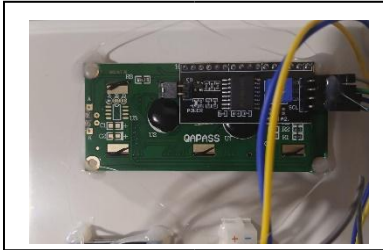


Fig. 1 Pantalla LCD para la visualización de los datos de humedad y temperatura.

ANEXO2

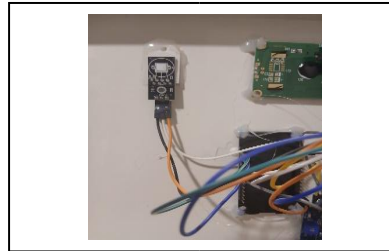


Fig. 2 Sensor de temperatura DHT22.

ANEXO 3

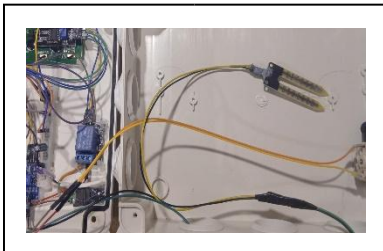


Fig. 3 Sensor de humedad HL69 del suelo.

ANEXO 4

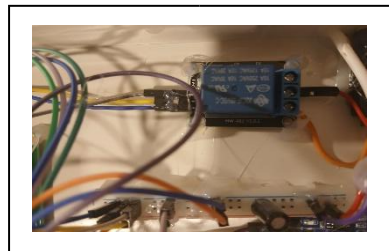


Fig. 4 Módulo Relay 5V

ANEXO 5

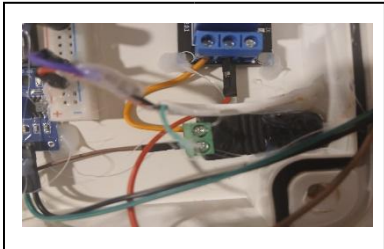


Fig. 5 Jack de alimentación

ANEXO 6

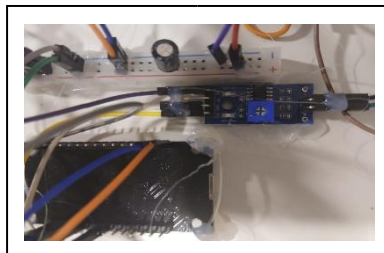


Fig. 6 Sensor infrarrojo

ANEXO 7

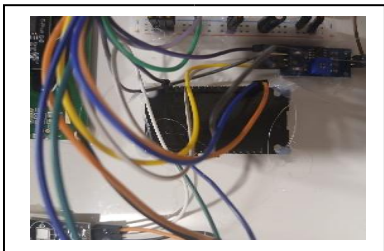


Fig. 7 ESP8266

ANEXO 8

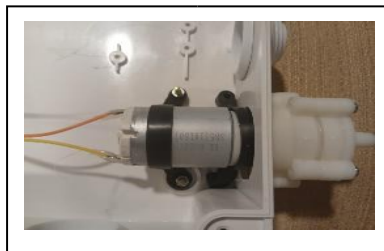
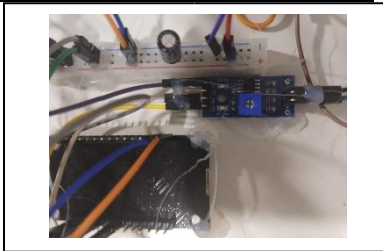


Fig. 8 Bomba de líquido
Intllab

ANEXO 9

Fig. 9 Capacitor electrolítico radial



ANEXO 10

Fig. 10 Sistema de riego automatizado





Diseño del prototipo

Diseño del prototipo

El prototipo Aqua Smart está construido dentro de una caja protectora que contiene los componentes electrónicos principales, incluyendo sensores, relé, pantalla LCD, ESP8266 y conexiones eléctricas.

El sistema hidráulico se conecta mediante tuberías y goteros que distribuyen el agua hacia las plantas. La bomba Intllab impulsa el agua a través del circuito acuapónico e hidropónico.

Distribución del sistema

- Área de peces

Espacio destinado al tanque acuapónico donde se encuentran los peces.

- Área hidropónica

Zona de cultivo de hortalizas mediante hidroponía.

- Sistema de bombeo

Encargado de mover el agua por todo el sistema.

- Sensores

Ubicados estratégicamente para monitorear humedad y temperatura.

- Tuberías

Distribuyen el agua hacia las plantas y retornan el agua al tanque.

- Plataforma digital

Permite supervisar y controlar el sistema remotamente.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN – SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO CON ESP8266 (NodeMCU)

ESTILO TINKERCAD

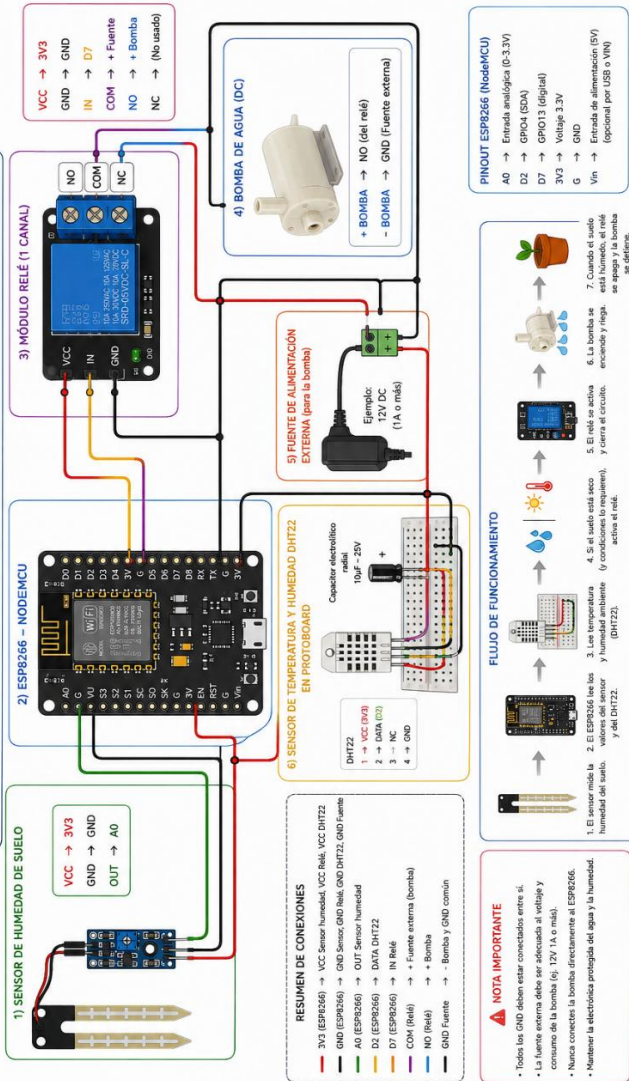
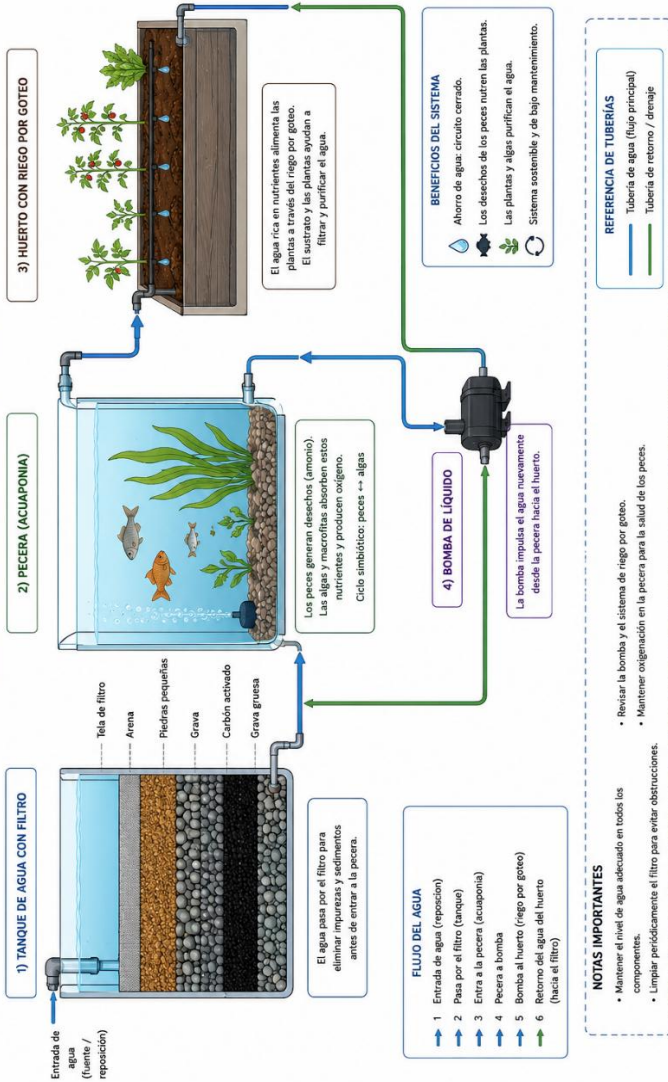


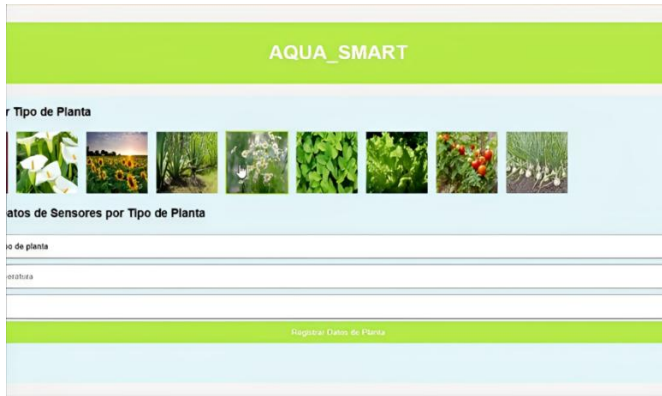
DIAGRAMA HIDRÁULICO – SISTEMA DE RIEGO CON ACUAPONIA

(Ciclo Simbiótico de Agua, Peces, Algas y Plantas)



Plataforma web

Plataforma web para monitoreo de plantas según su tipo dónde se brinda un análisis personalizado según los datos de los sensores.



Página web informativa

Aqua Smart cuenta con una página web informativa diseñada para facilitar el acceso a información relacionada con el funcionamiento del sistema.



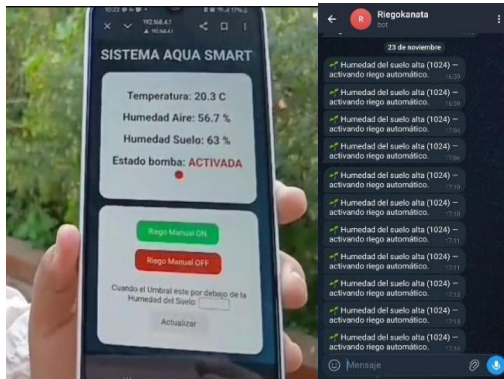
Domino: <https://aquasmartcocha.com/>



Bot de telegram y servidor

Aqua Smart incorporará un bot de Telegram conectado a un servidor que permitirá monitorear y controlar el sistema de manera remota y en tiempo real. A través del bot, los usuarios podrán recibir notificaciones automáticas sobre la humedad del suelo, estado de la bomba, temperatura ambiental y posibles fallas del sistema.

El servidor se encargará de almacenar y procesar la información enviada por los sensores y el ESP8266, permitiendo una comunicación constante entre el sistema físico y la plataforma digital.



Conclusión

La crisis hídrica que enfrenta Sacaba representa uno de los mayores desafíos ambientales y sociales para las familias, agricultores y comunidades de la región. La escasez de agua no solamente afecta el acceso al consumo básico, sino también la producción de alimentos, la economía familiar y la calidad de vida de miles de personas que dependen de la agricultura para subsistir. Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar soluciones sostenibles, innovadoras y accesibles que permitan optimizar el uso del agua y fortalecer la seguridad alimentaria de manera responsable.

En este contexto, Aqua Smart se presenta como una propuesta tecnológica integral que combina automatización, acuaponía, hidroponía, piscicultura y monitoreo digital para desarrollar un sistema agrícola más eficiente y sostenible. A través del uso de sensores, módulos electrónicos, plataformas IoT y sistemas de recirculación de agua, el proyecto busca reducir significativamente el desperdicio hídrico, mejorar la producción de alimentos frescos y disminuir la necesidad de intervención manual constante en las actividades de riego y mantenimiento.

Además, Aqua Smart no solo se enfoca en la innovación tecnológica, sino también en el impacto social y comunitario. El proyecto pretende facilitar el acceso a tecnologías agrícolas para agricultores, familias, estudiantes, adultos mayores y personas con movilidad limitada, promoviendo la inclusión, la autonomía y el aprendizaje práctico mediante herramientas accesibles y fáciles de utilizar. Asimismo, fomenta la educación STEM y la conciencia ambiental, demostrando cómo la tecnología puede convertirse en una herramienta real para resolver problemas que afectan directamente a la sociedad.

La integración de acuaponía e hidroponía dentro del sistema permite reutilizar el agua continuamente mediante un ecosistema cerrado donde peces, bacterias nitrificadoras y plantas trabajan conjuntamente para mantener el equilibrio natural y reducir la contaminación ambiental. Este enfoque sostenible demuestra que es posible producir alimentos de calidad utilizando menos recursos naturales y minimizando el impacto ecológico de la agricultura tradicional.

De igual manera, la incorporación de monitoreo remoto y automatización inteligente convierte a Aqua Smart en una propuesta adaptable a las necesidades actuales y futuras de las comunidades afectadas por la sequía. Gracias a la tecnología IoT y al control automatizado del riego, los usuarios pueden supervisar el sistema en tiempo real, optimizando recursos y mejorando la eficiencia agrícola de manera continua.

Finalmente, Aqua Smart representa mucho más que un sistema de riego automatizado. Constituye una alternativa sostenible, educativa e inclusiva capaz de aportar soluciones concretas frente a la crisis hídrica en Sacaba. El proyecto demuestra que la combinación entre tecnología, sostenibilidad y participación comunitaria puede convertirse en una herramienta poderosa para construir comunidades más resilientes, responsables y preparadas para enfrentar los desafíos ambientales del futuro.

