

CONTROLADOR DE CONDICIONES CRÍTICAS PARA LA SALUD DE PLANTAS Y PECES VIVOS DENTRO DE UN BUCLE ACUAPÓNICO

Realizado por:
Ing. Diego García / Correo: dagarciam1014@gmail.com
Ing. Jesús Lozano/ Correo: jesusdavidlozanomaarin@gmail.com
Ing. María Viloria / Correo: maria.viloria200329@gmail.com

Tutor Académico:
Dra. Gleidys García / Correo: ggarcia1@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dra. María Paz / Correo: mapaz1@urbe.edu.ve

A nivel nacional se han desarrollado proyectos como el llamado Verde en Concreto diseñado e implementado por Christian García, el cual, en palabras de su fundador, Alí Olivero, es un juego de palabras para ilustrar cómo “el sistema de acuaponía permite usar espacios impensables para la agricultura tradicional, es decir, no requerimos de tierra o de suelo, como se conoce normalmente” (Olivero, 2023).

A nivel regional, la agricultura y acuicultura en los últimos años se ha visto en declive (Reyes, 2020), especialmente por problemas relacionados a la escasez de insumos como los

son fertilizantes e insecticidas en el caso de la agricultura, así como la contaminación en el caso de la acuicultura; otras variables a considerar son la supervisión de estos sistemas, ambos necesitan de un continuo monitoreo de sus condiciones, lo que actualmente se hace de forma casi completamente manual a destiempo y con errores humanos, por lo cual se busca una estrategia que ayude a disminuir las fallas y crear un sistema con mejores resultados.

Es aquí donde esta investigación toma relevancia, pues su enfoque y propósito es desarrollar una forma óptima de monitorear condiciones y variables como: el pH y temperatura del agua, estado de los peces, entre otras. y de esta forma actuar sobre el sistema para así automatizar la mayor cantidad de funciones posibles mediante el uso de un conjunto tecnológico está basado en microcontroladores que interactúan con el sistema acuapónico a través de sensores que se encargará de recopilar datos con los cuáles se puede evaluar el estado del bucle y actuadores que ejercerán acciones programadas cómo lo sería la alimentación de los peces, la apertura o cierre de válvulas de agua, o la adición de recursos externos al bucle para su alcalinización o enriquecimiento.

Asimismo, los microcontroladores recopilan datos que luego son enviados a un subservidor local, responsable de coordinar las tareas de los microcontroladores, responder a eventos especiales como las instrucciones del usuario o acciones derivadas del análisis de datos previos, y generar informes. Posteriormente estos informes son remitidos a un servidor central, encargado de agendar y realizar análisis exhaustivos de los datos y almacenar los informes a largo plazo. Además, este servidor central proporciona una interfaz para la gestión y supervisión del sistema. El detallado proceso de recopilación y gestión de datos mediante microcontroladores, así como su posterior análisis en servidores locales y centrales, evidencia la complejidad inherente al monitoreo y mantenimiento de sistemas acuapónicos. Esta complejidad resalta la necesidad de explorar métodos más eficientes para garantizar las condiciones óptimas tanto para los organismos acuáticos como para las plantas.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se preparó un guion de entrevista con preguntas abiertas dirigidas a agricultores especializados en acuaponía (2) y encargados de sistemas (2), los cuales fueron seleccionados para la recolección de datos con respecto a la problemática a resolver, controlar las condiciones críticas para la salud de peces y plantas en un bucle acuapónico. Con la información obtenida a

través de las entrevistas se concluye que las condiciones críticas sobre las que va a actuar o vigilar el controlador son:

- Alimentación de los peces (Variable 1)
- pH (Variable 2)
- Oxígeno disuelto (Variable 3)
- Nivel de agua (Variable 4)
- Temperatura de agua y ambiente (Variable 5 y Variable 7 respectivamente)
- Flujo del agua (Variable 6)
- Energía de respaldo

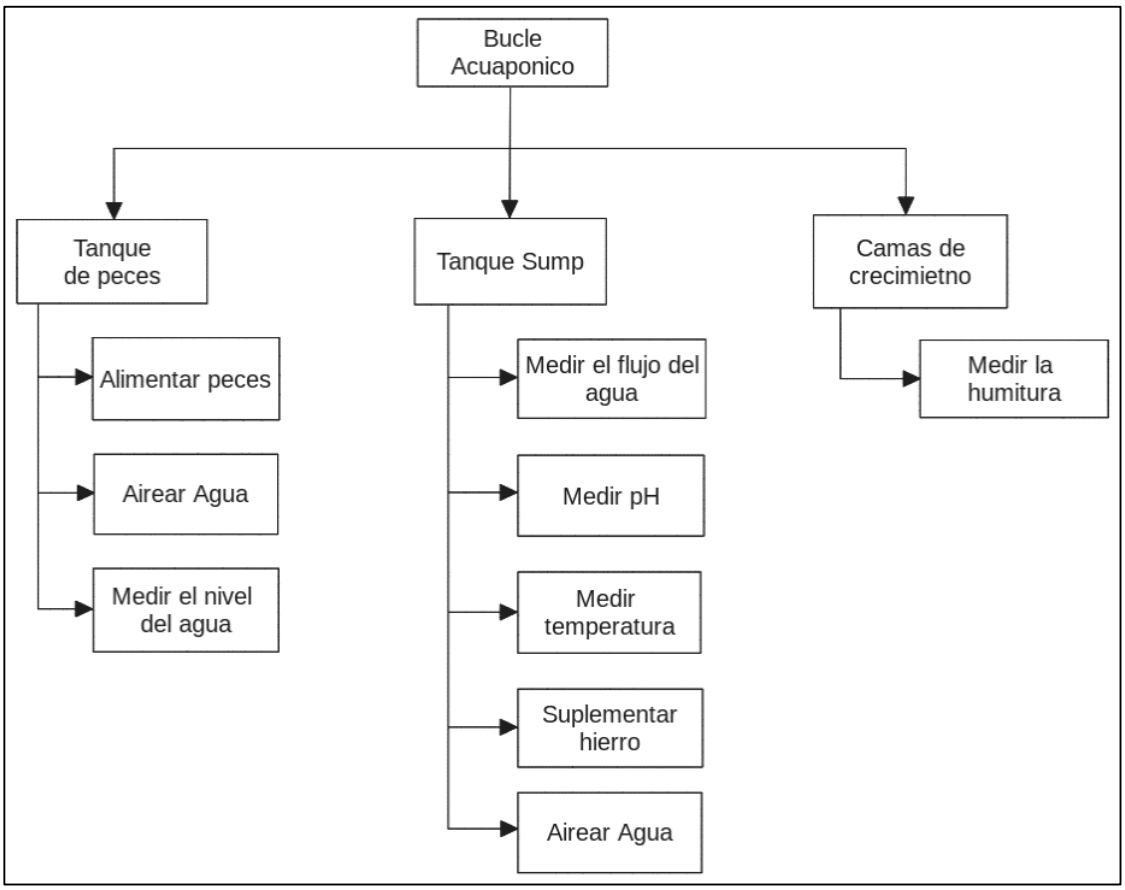


Figura 1. Diagrama jerárquico
Fuente: Garcia, Lozano, Viloria (2024)

Se continua con el flujo del sistema atravesando los filtros, tanto mecánico como el biofiltro, hasta llegar al sump, lugar en el sistema en el cual el controlador también va a actuar.

Se plantean los procesos vinculados al diagrama de componentes presentado en la figura 2, la cual divide los procesos entre servidor principal, Sub servidor, reactores y controlador.

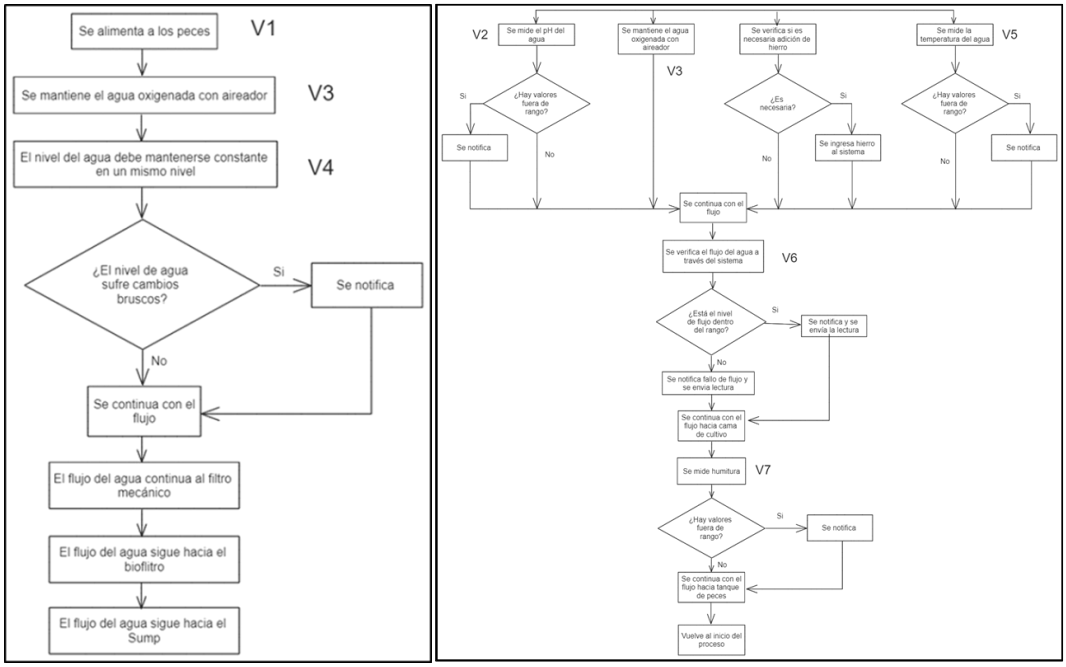


Figura 2. Diagrama de Flujo 1
Fuente: Garcia, Lozano, Viloria (2024)

En la figura 3 se describe la base de datos diseñada con cada una de sus tablas, las cuales se describirán a continuación.

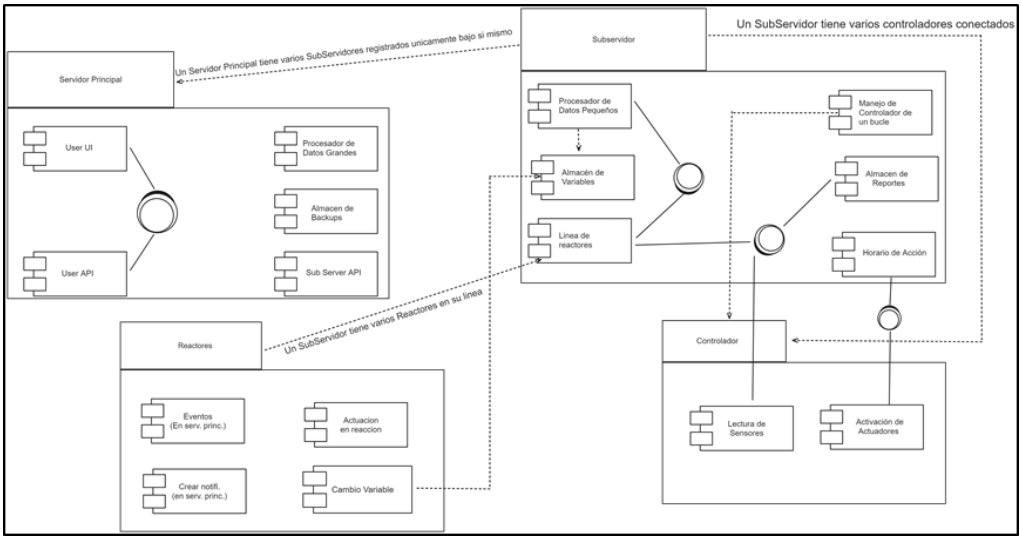


Figura 3. Modelo de base de datos (1)
Fuente: Garcia, Lozano, Viloria (2024)

La tabla de “Subserverreports” es la que contiene todos los datos relacionados con los reportes de cada sub servidor, conteniendo datos como su ID, el user de quien hizo el reporte, la fecha y hora, entre otros datos que son de gran importancia para llevar un buen control, también se cuenta con la tabla “Subservers” cuyo Id tiene el papel de llave foránea en gran parte de las tablas

pues de él depende gran parte del control. Cada sub servidor cuenta con distintos dispositivos, los cuales se guardarán en la tabla “Subserverdevices” la cual contiene todos sus datos, como el Id, su nombre, el sub servidor al que pertenece, entre otros datos correspondientes.

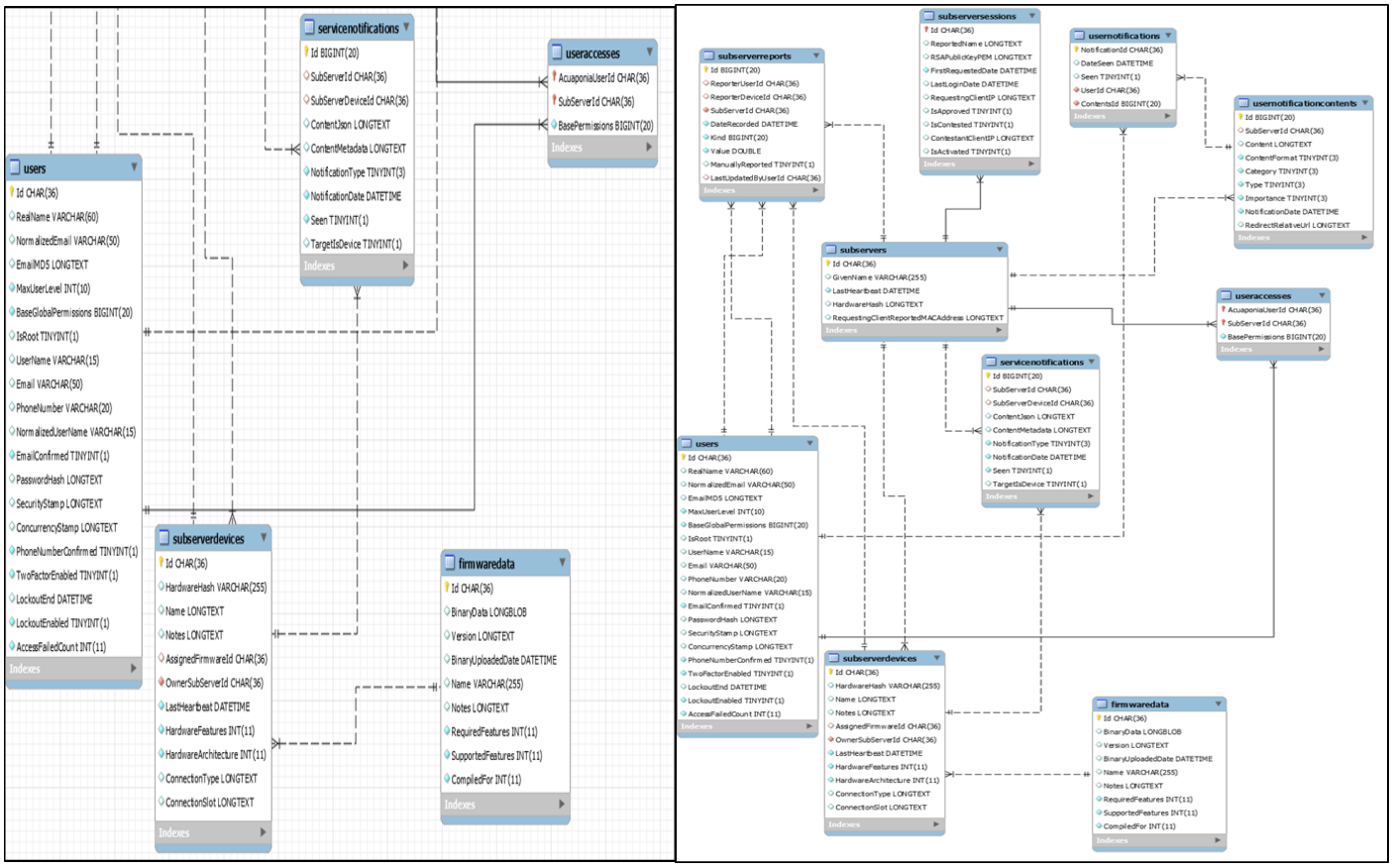


Figura 4. Modelo de base de datos
Fuente: García, Lozano, Viloria (2024)

A su vez se tiene la tabla de “subserversessions” en la cual se contienen los datos correspondientes a las sesiones de conexión de cada uno de los sub servidores, datos como el usuario que solicita una conexión, si la sesión fue aceptada, cuando fue la sesión y entre otros datos. De la misma forma, se cuenta con la tabla de usuarios, en la cual se encuentran todos los datos de un usuario, incluyendo además de la información básica, los permisos con los que cuenta, la cantidad de veces fallidas que intenta ingresar, entre otros. De esta forma, también se cuenta con tablas relacionadas a las notificaciones y su contenido, y otra tabla la cual contiene los permisos de acceso a los distintos usuarios a su sub servidor correspondiente.

Terminando con el diseño de la base de datos, se continúa con el diseño esquemático eléctrico del controlador, para el cual utilizamos el software Proteus, el cual es un software de diseño electrónico que permite a su vez la validación del diseño a través de simulaciones. El diseño

electrónico se subdivide en distintos segmentos, el primero es el sistema de energía, el cual en casos de fallos eléctricos se alimentará de baterías, de modo que el controlador pueda continuar con su funcionamiento mínimo viable por la mayor cantidad de tiempo posible en casos de fallas eléctricas.

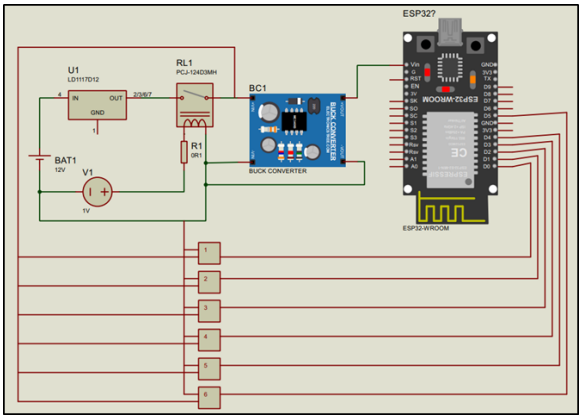


Figura 6. Diagrama Eléctrico
Fuente: García, Lozano, Viloria (2024)

Este está compuesto por una batería de 12V conectada a un relay normalmente cerrado, el cual tiene su electroimán conectado a un transformador que se alimenta con corriente alterna; de manera que el relay se abra en presencia de corriente alterna, desconectando la batería; y en el evento de una falla eléctrica, el relay se cierre nuevamente conectando la batería al resto del circuito, manteniéndolo alimentado continuamente.

Asimismo, como se ve en la figura 6, se cuentan con los segmentos del 1 al 6 los cuales cuentan con relés que serán activados a través de señales dadas por el ESP32. Se explicará a continuación a detalle el propósito de cada segmento: El segmento uno activará una bomba peristáltica la cual será la encargada de la adición de hierro al sistema en el horario planificado; el segmento 2 será el encargado del manejo de la bomba de 12V, la cual es la que se ocupa de mover el agua a través de todo el sistema para cumplir con el bucle y cuyo flujo puede ser regulado.

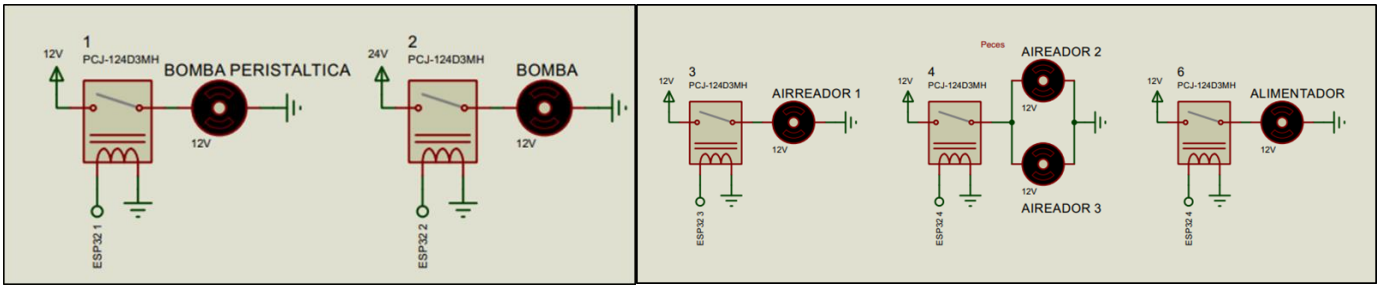


Figura 7. Diagrama Eléctrico (módulos)
Fuente: García, Lozano, Viloria (2024)

El segmento 3 y 4 son los que se encargan de las bombas aireadoras, el segmento 3 controlará la bomba destinada al tanque sump y el segmento 4 contendrá las dos bombas aireadoras del tanque de peces pues es el que necesita más oxígeno. Y para finalizar, el segmento 6 es el encargado del servomotor que estará destinado al alimentador, de forma que dispense el alimento de forma automática a los peces en su respectivo horario.

Ya establecido el diagrama eléctrico, se dispone a hacer la lista con las funciones obligatorias con las que debe cumplir el controlador, tomando en cuenta todos los requerimientos y toda la información que se ha recolectado hasta ahora:

- Mantener el flujo de agua constante todo el tiempo que sea posible
- Mantener el tanque de peces y el Sump oxigenado en todo momento
- Cumplir con los horarios de alimentación de los peces
- Monitorear temperatura, flujo de agua y humedad del ambiente
- Enviar reportes que puedan ser vistos por el usuario

Y finalmente, para concluir con esta fase se diseña el prototipo sobre el cual se va a utilizar el controlador. El prototipo contará con el tanque sump, la cama de cultivo, el tanque de peces y por último el filtro. Para el tanque de peces y cama de cultivo se utilizará un tanque pequeño de 220 lts, el cual se cortará una porción para la cama de cultivo y el resto para los peces, la proporción es de aproximadamente ¼ a ¾ del tanque respectivamente. Para el tanque sump se utilizará un tambor pequeño de unos 80 lts y para el filtro se utilizará un cuñete de 20 lts.



Figura 8. Prototipo diseñado en sketchUp
Figura: García, Lozano, Viloria (2024)

Para los sensores y actuadores se realizarán soportes, los cuales estarán ubicados de la siguiente manera: en el tanque de peces estará el sensor ultrasónico y el alimentador, en el sump estará el sensor de pH y el sensor de temperatura del agua; a la salida del sump estará el flujómetro el cual va directamente acoplado en la tubería que va hacia la cama de cultivo. Asimismo, en la cama de cultivo se encontrará el sensor de humitura, para mantener un registro de la temperatura y humedad del ambiente.

Para la construcción del prototipo se comenzó por ubicar el tanque de 220 lts para realizar la cama de cultivo y el tanque de peces, lo cual es lo primordial para la elaboración del sistema. Primeramente, se corta lo que será la cama de cultivo, la cual debe tener una altura de aproximadamente 20 cm. Luego se hacen dos agujeros en los laterales del tanque de peces, de forma que se pueda acceder a su interior (para alimentar, observar y mantenimiento), además se hace la conexión a la salida del agua que va desde el tanque de peces hacia el filtro, el cual será un filtro radial con un tambor de aproximadamente 20lts y que tendrá salida hacia el tanque sump.



Figura 9. Prototipo del bucle
Fuente: García, Lozano, Viloria (2024)

Una vez listo el filtro se hacen las conexiones de salida y entrada de agua del tanque sump, para terminar el bucle con la llegada del agua a la cama de cultivo. Una vez listo el prototipo sobre el que se va aplicar el controlador se procede a hacer los soporte para los sensores que lo necesitan, como el ultrasónico, el sensor de pH. Para ello se buscaron modelos 3D en la plataforma thingiverse, a los cuales se les harán pequeñas modificaciones para adaptar al prototipo.

En esta pantalla se muestra la información detallada de un bucle seleccionado, que contiene un gráfico a través del tiempo sobre un tipo de variable disponible para seleccionar, y un listado de los valores actuales de las distintas medidas manejadas por el sub servidor en cuestión. Además, una barra de búsqueda para encontrar un sub servidor en específico.

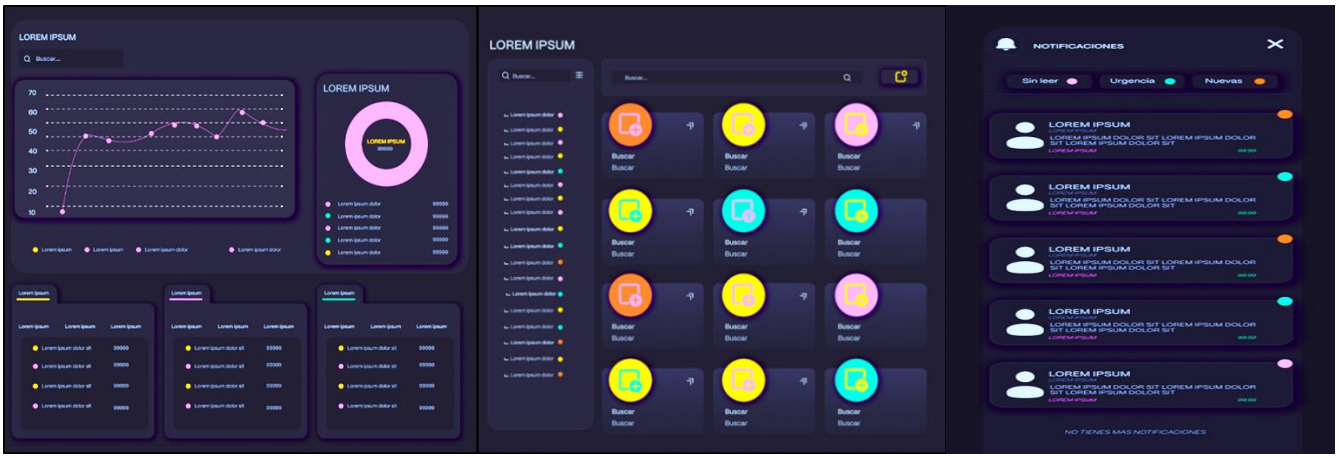


Figura 21. Pantalla de panel de entrada (Dashboard), búsqueda de Sub servidores y desplegable de Notificaciones
Fuente: García, Lozano, Viloria (2024)

Por debajo de la vista detallada, se observará un listado de resúmenes de los demás sub servidores a los cuales el usuario tiene acceso (en caso de existir), los cuales pueden ser seleccionados para ser mostrados en la vista detallada. En caso de que el usuario desee buscar un sub servidor en específico a través de su nombre dado, éste será capaz de hacerlo a través de la pantalla de búsqueda de sub servidor. En la búsqueda del sub servidor, se ofrece una lista con la información básica de un sub servidor, incluyendo su nombre, y la última vez que éste hizo un reporte de salud. Desde aquí, es posible seleccionar un sub servidor para entrar a su panel administrativo, desde el cual el sub servidor y sus dispositivos pueden ser configurados; además, un reporte manual puede ser efectuado desde aquí.

Debido a que el sistema puede encontrar eventualidades de distintas importancias o categorías, incluyendo, pero no limitado a problemas con el bucle, algún dispositivo registrándose en el sistema, u otros, la aplicación cuenta con un sistema de notificaciones, remitidas a cada usuario para quien la información sea relevante. Estas notificaciones serán observables a través del menú desplegable de notificaciones, accesible desde todas las pantallas de la aplicación, y desde una pantalla dedicada para las notificaciones, que además ofrece una búsqueda avanzada para filtrar las notificaciones remitidas al usuario.

Para concluir con esta última fase, se evalúa la funcionalidad completa del controlador, para lo cual se comienza pruebas de funcionalidad básica del controlador, es decir, que el controlador en sí

funcione como es de esperarse; esto se logró a través de programas simples que probaban las salidas de información (como UART, Bluetooth y WiFi) y los pines (tanto en modo de entrada, como salida).

CONCLUSIONES

Se evidencia que las condiciones críticas de un bucle acuapónico engloban todas aquellas que afecten directamente a la salud de las plantas y peces, de las cuales se infiere que las más cruciales son: El pH, el oxígeno disuelto en el agua, así como la temperatura del agua y el nivel del agua, otras variables cruciales son el flujo constante del agua a través del sistema y la energía de respaldo, de forma que en caso de haber algún percance eléctrico los peces no sufran en el proceso por falta de oxigenación.

Se procedió con la construcción del prototipo y el desarrollo del software en el cual a medida que se fue desarrollando se descubrió diversos errores que fueron detectados tempranamente y que pudieron ser corregidos como por ejemplos errores de comunicación entre el api y el frontend de la aplicación. Asimismo, en este objetivo se desarrollaron los dos elementos principales ‘Servidor’ y ‘Sub servidor’, los cuales son los encargados del funcionamiento del controlador. De la misma forma, en este objetivo se construyó el prototipo, tanto del bucle acuapónico como del controlador en sí. Se hicieron las diversas pruebas para verificar el correcto funcionamiento del controlador, las cuales se realizaron siguiendo una lista de parámetros a probar, como lo es el funcionamiento de la API, el funcionamiento de la validación de las claves de acceso, entre otras cosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Kendall, K. y Kendall, J. (2011). **Análisis y diseño de sistemas.** México: Pearson Educacion de Mexico S.A.

López, J. (2019). **Cultivo acuapónico: Guia especializada**. España: Aula del Mar.

Metcalfe, J., Richardson, J., Backhurst, J., y Harker, J. (2003**) Ingeniería química. Operaciones básicas.** México: Editorial Reverté.

Rakocy, J. (2011). **Aquaponics Q and A.** Estados Unidos: Nelson and Pade, Inc.

Rodríguez, H. y Ánzola, E. (2001). **Fundamentos de acuicultura continental.** Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Savant, C., Gordon, L. y Martin, R. (2000). **Diseño Electrónico, Circuitos y sistemas.** México: Alhambra Mexicana.