

# Sistema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua para la conservación ex-situ de especies de género *ambystoma*.

## **Trabajo Terminal No. 2024-B**

*Alumnos: Cazares Cruz Jeremy Sajid, \*Guerrero Pérez Brandon Josué*

*Directores: Morales Rodríguez Úrsula Samantha, Rodríguez Jordán Gabriel de Jesús*

*Email: [bguerrerop1600@alumno.ipn.mx](mailto:bguerrerop1600@alumno.ipn.mx)*

**Resumen** – El presente trabajo terminal busca implementar un sistema de software para monitoreo de la calidad del agua de un ajolotario en el que se conservan especies de género *ambystoma* en peligro de extinción o sujetas a protección especial de manera ex-situ, por medio de sensores y el uso del Internet de las Cosas (IoT) para enviar alertas a los cuidadores cuando alguno de los parámetros fisicoquímicos del agua se considere nocivo para las especies, mediante notificaciones que podrán ser visualizadas desde un dispositivo móvil, con el fin de garantizar la supervivencia de los ejemplares. Estas notificaciones serán el resultado de las mediciones de parámetros puntuales relacionados con la calidad del agua para asegurar el bienestar de los ajolotes en los ambientes acuáticos controlados a través de un dispositivo de adquisición de datos y un software dedicado para visualización y alertamiento de los parámetros fisicoquímicos

**Palabras clave** – Ambystoma, calidad del agua, sensores, Internet de las cosas, sistema de monitoreo, parámetros fisicoquímicos.

## **1. Introducción**

La calidad del agua es fundamental para el bienestar de los ajolotes, científicamente reconocidos como especies de género *ambystoma*, los cuales son endémicas de México, principalmente del Valle de México. Son especialmente sensibles a toxinas y cambios en su entorno acuático, y de hecho, los ajolotes son considerados bioindicadores de buena calidad del agua donde habita. Una mala calidad del agua afecta su salud, comportamiento y su capacidad única de regeneración [1]. Actualmente, 11 de las 16 especies que habitan en México están sujetas a protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Por lo que, de acuerdo a los planes de conservación del gobierno federal, Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), es importante conservar la especie tanto in-situ, en su ambiente natural, como ex-situ, fuera de su hábitat, como podría ser en cautiverio o en instalaciones de conservación especializadas [2].

Un error muy común, especialmente en contextos de conservación ex-situ, y que suele derivar en la muerte temprana de los ajolotes, es la creencia de que no necesitan demasiados cuidados. Si bien es cierto que se trata de un animal resistente y poco propenso a enfermar, es muy importante disponer de un ajolotario bien montado cuando se les cuida fuera de su hábitat natural. El ajolotario debe disponer de un buen filtro (que incluya filtrado mecánico, químico y biológico), aireador y refrigerador (los ajolotes necesitan agua fría para estar sanos y vivir con bienestar) [3]. Al tratarse de una especie 100% acuática la calidad del agua es la característica más importante, y hay que recordar que, como todos los anfibios, pueden absorber por la piel todas las sustancias nocivas que pueda contener el agua.

Para mantener una óptima calidad del agua, es esencial medir sus cualidades fisicoquímicas, como el pH, dureza, nitritos, nitratos, amonio, CO<sub>2</sub>, porcentaje de oxígeno, cloro, entre otros. Se debe tener en cuenta que, si se utiliza un filtro tipo cascada, el porcentaje de agua que se evapora es elevado y se debe reponer con frecuencia [4]. En algunos ajolotarios de la Ciudad de México, se han documentado muertes de ejemplares cuyas causas exactas permanecen desconocidas [5]. Si bien la razón precisa de estas muertes no se ha determinado, es plausible pensar que, si en estos ajolotarios se contara con un sistema de monitoreo para los

parámetros fisicoquímicos del acuario, podríamos tener una visión más clara y, potencialmente, encontrar soluciones para prevenir futuros incidentes.

En el Parque Ecoturístico Michmani, el alcalde de Xochimilco, José Carlos Acosta, indicó que el ajolote espreciado tanto para la cultura nacional como para la ciencia y explicó que su protección requiere una lucha para recuperar la especie luego de siglos de deterioro.

Informó que en la zona lacustre hay 70 ajolotarios en los cuales han participado investigadores de la UNAM, UAM y la Universidad de Kent de Inglaterra; además, expertos de Cuba y Japón [6], pero ninguno de ellos cuenta con un sistema de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua.

Existen criaderos establecidos y especializados en la reproducción en cautiverio de esta especie. Estos son conocidos como UMAs (Unidades de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre) [7]. Hay 2 tipos de UMAs que son la extensiva (en vida libre o silvestre) y la intensiva (en cautiverio o confinamiento). Las UMAs intensivas encargadas del cuidado y la conservación de los ajolotes tienen la capacidad de tener reproducción controlada, manejo sanitario y la posibilidad de repoblación en su hábitat natural, esto a través de todos los cuidados necesarios para el mantenimiento en cautiverio de estas especies [8].

Muchas de estas UMAs y ajolotarios no cuentan con sistemas automáticos de alertamiento, solo algunos de ellos cuentan con sistemas de automatización de procesos para el mantenimiento del agua como lo son equipos de aire acondicionado, filtros y bombas de aire de uso comercial. Además de realización de actividades manuales como el cambio total del agua al menos una vez al mes y la limpieza y desinfección de los hábitats, un ejemplo de estos criaderos es el Parque zoológico Benito Juárez, en el cual miden los parámetros fisicoquímicos del agua de manera rutinaria usando kits específicos para mantener la misma en óptimas condiciones para los ajolotes, es decir mediciones de manera manual [9]. Pero dado el caso de que estos sistemas lleguen a fallar o un parámetro imprevisto se llegue a presentar los ajolotes quedarían expuestos a un peligro.

Actualmente, en la era del Internet de las Cosas (IoT), donde dispositivos cotidianos están conectados a la red para recolectar y compartir información, no hay registro de sistemas que permitan el monitoreo y alertamiento de parámetros fisicoquímicos diseñados específicamente para ajolotes. Sin embargo, hay sistemas ya desarrollados que, con algunos ajustes, podrían ser optimizados para el uso exclusivo de ajolotes. Tal es el caso del “prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón”, que, aprovechando la tecnología IoT, usa sensores de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura. La información tomada de la calidad del agua de estos sensores se transmite inalámbricamente y se descarga en una computadora personal [10].

Para abordar este desafío, la tecnología moderna, como el Internet de las Cosas (IoT), ofrece una solución prometedora. Dispositivos electrónicos interconectados a través del IoT monitorean constantemente parámetros críticos como el pH, la temperatura y los niveles de oxígeno disuelto del agua en los ecosistemas artificiales de los ajolotes. La implementación de esta tecnología permite alertar a los cuidadores sobre cualquier desviación de los niveles óptimos y, en algunos casos, es posible considerar ajustar automáticamente las condiciones para mantener un ambiente saludable."

Por ejemplo, sensores instalados en laboratorios de investigación o en hogares de entusiastas pueden enviar datos a aplicaciones móviles o plataformas en línea. Esto asegura un monitoreo constante y permite una respuesta inmediata ante cualquier problema, garantizando así la salud de los ajolotes. La aplicación de la IoT en la conservación de ajolotes es un ejemplo de cómo la tecnología puede ser utilizada para proteger la biodiversidad y preservar especies en peligro de extinción. Esta combinación de prácticas tradicionales de cuidado con innovaciones del siglo XXI demuestra cómo podemos aprovechar la tecnología para proteger a estas fascinantes criaturas.

A pesar de contar con el internet de las cosas, en el ámbito del cuidado de los animales acuáticos en cuerpos de agua ex-situ, no siempre se visualiza el panorama completo. Es decir, no se toman en cuenta todos los factores que favorecen a la supervivencia de los animales en estos entornos controlados. Un ejemplo de esto es que hay pocas empresas que se dediquen a medir el oxígeno disuelto en el agua, un parámetro crítico para asegurar su bienestar.

En la siguiente tabla se colocan algunas empresas que si llevan a cabo el cuidado de hábitats de animales acuáticos:

**TABLA 1.** Resumen de productos similares

EMPRESA	CARACTERÍSTICAS	PRECIO EN EL MERCADO
Loxone [11]	Loxone es un sistema de automatización con control inteligente e intuitivo que ofrece un ejemplo de sus servicios con un acuario automático, el cual controlará y dará datos de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Nivel del agua</li> <li>• Bomba (filtro)</li> <li>• Alimento</li> <li>• Iluminación</li> </ul>	€1,500 o \$28,800 MXN
Fluval [12]	Es una marca de acuarios domésticos y cuenta con diversos tipos de peceras dependiendo del tipo de pez y de las necesidades individuales de estos, tomando en cuenta las recomendaciones de una pecera de mínimo 40 litros para ajolotes ofrece: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de filtrado de 3 etapas</li> <li>• Mando para controlar colores LED</li> <li>• Carbón activado para filtración química</li> <li>• Calefacción</li> </ul>	\$4550 MXN
Neptune System [13]	Es un sistema automatizado de control de acuarios que ofrece monitoreo en cualquier momento desde cualquier dispositivo, notificaciones y alertas, acción con automatización y registro de confiabilidad, cuenta con 3 servicios y para el cuidado de los ajolotes conviene el servicio A3 APEX pro que proporciona: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminación</li> <li>• Variedad de sensores para parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, redox, salinidad y nivel del líquido)</li> <li>• Fuente de poder</li> <li>• Controladores</li> <li>• Accesorios</li> <li>• Control basado en la nube</li> <li>• Información continua del estado del acuario</li> </ul>	\$18,000 MXN
Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón [14]	Se ofrece un prototipo capaz de monitorear los parámetros del agua en forma continua: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxígeno disuelto</li> <li>• PH</li> <li>• Salinidad</li> <li>• Temperatura</li> </ul> Además de presentar los parámetros censados en una interfaz graficade ventana en una PC.	Al tratarse de un prototipo no está a la venta

En la tabla 1, se presentan varios productos vinculados al cuidado de animales acuáticos, los cuales incorporan sensores esenciales para monitorear los parámetros más comunes en este ámbito. Sin embargo, dado que no son productos específicamente diseñados para ciertas especies, y tienen un enfoque más general, no satisfacen todas las necesidades para un monitoreo óptimo de la calidad del agua en criaderos de diferentes especies. En particular, carecen de sensores para medir parámetros como el oxígeno disuelto, total de sólidos disueltos y total de sólidos suspendidos, que son cruciales para la supervivencia de algunos animales acuáticos. Aunque el "Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón" cumple

con características específicas para una sola especie, su aplicación en otras especies no garantizaría la seguridad de los ejemplares.

En este contexto, se identifican varias áreas de mejora que, de ser atendidas, podrían optimizar la eficacia de estos sistemas, especialmente en lo que respecta al cuidado de los ajolotes. Primero, es imperativo un monitoreo específico para ajolotes, donde los sistemas estén diseñados o calibrados específicamente conforme a las necesidades únicas de estos animales, considerando los rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos para esta especie en particular. Seguido, la incorporación de sensores completos es crucial; los sistemas deberían incluir sensores que midan todos los parámetros fisicoquímicos relevantes: pH, oxígeno disuelto, temperatura, cantidad de cloro y cloramina, ya que algunos de los sistemas actuales no monitorean todos estos parámetros críticos [9].

Además, la función de notificaciones y alertas automáticas es esencial, de modo que los sistemas puedan enviar alertas automáticas a los cuidadores en caso de que cualquier parámetro se desvíe de su rango óptimo, permitiendo una respuesta rápida para corregir el problema. También se necesita una interfaz intuitiva y fácil de usar que permita a los cuidadores visualizar y entender rápidamente la información proporcionada por el sistema, sin la necesidad de una capacitación extensa. La visualización gráfica de datos, que muestre la evolución de los parámetros a lo largo del tiempo, facilitará la identificación de tendencias y potenciales problemas, proporcionando una visión clara y comprensible del entorno acuático.

En términos de hardware, la durabilidad y resistencia al agua de los componentes electrónicos y sensores es vital para garantizar una larga vida útil y precisión en las mediciones, asegurando que sean resistentes al agua y a las condiciones específicas del ajolotario. Finalmente, la accesibilidad y asequibilidad son aspectos clave; la facilidad de adquisición y mantenimiento, junto con un precio asequible, garantizarán que estos sistemas sean viables y sostenibles a largo plazo, contribuyendo de manera efectiva al cuidado y conservación de los ajolotes.

## **2. Objetivo**

Implementar un sistema automatizado de vigilancia remota basado en tecnologías IoT para el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y calidad del agua, así como el alertamiento de parámetros con valores no ideales dentro de un ambiente controlado para la conservación ex-situ de especies del género *ambystoma* (ajolotes) garantizando un ambiente óptimo y saludable.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Implementar un circuito de adquisición de datos para los sensores de parámetros fisicoquímicos como lo son el sensor de pH, oxígeno disuelto, temperatura, total de sólidos suspendidos, total de sólidos disueltos, etc.
- Diseñar un recinto o caja impermeable para albergar el circuito y asegurarse de que no haya ningún riesgo para los ajolotes, ni para el dispositivo electrónico.
- Programar y acondicionar una tarjeta de adquisición de datos para leer los valores de los sensores y transmitirlos hacia una base de datos en la nube.
- Desarrollar una aplicación móvil que permita visualizar los datos de los parámetros fisicoquímicos.
- Generar un sistema de notificaciones que alerte al usuario cuando algún parámetro fisicoquímico se encuentre fuera de rango.
- Establecer y optimizar una base de datos en la nube que almacene y gestione los datos recopilados, permitiendo consultas y análisis de manera eficiente.

### 3. Justificación

El proyecto de desarrollar un sistema automatizado de monitoreo de parámetros fisicoquímicos para el agua en un ambiente controlado de ajolotes es de suma importancia. Considerando que los ajolotes mexicanos (*Ambystoma mexicanum*) son anfibios en peligro de extinción, la conservación de su bienestar es crucial para su supervivencia. Además, los ajolotes desempeñan un papel vital en el equilibrio de su ecosistema, contribuyendo a la salud de los cuerpos de agua al alimentarse de ciertas especies y proporcionando alimento a otras, actúan como bioindicadores de la calidad del agua y su preservación tiene implicaciones más amplias para la salud general del ecosistema.

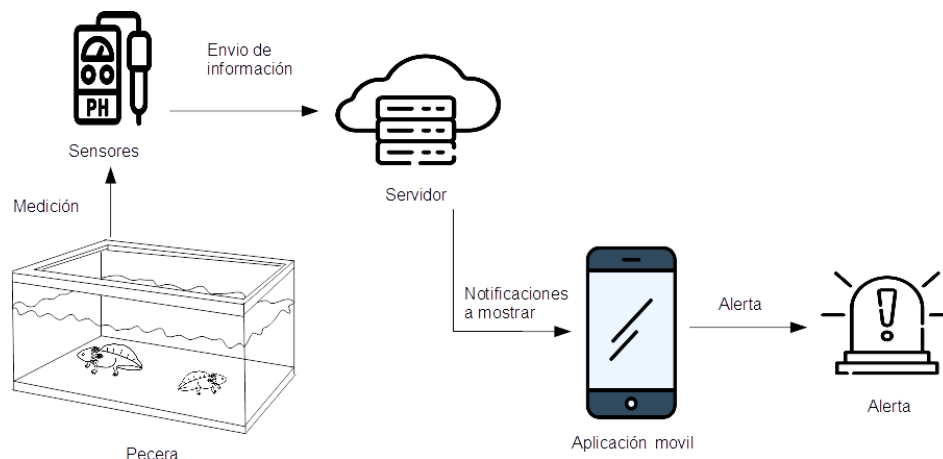
La monitorización constante y precisa de los parámetros fisicoquímicos del agua es esencial para garantizar el bienestar de los ajolotes en cautiverio, ya que la calidad del agua es el factor más importante para considerar; si ésta presenta variaciones fuera de los parámetros óptimos pueden causar estrés, enfermedades e incluso la muerte de estos animales. La intervención manual y frecuente, que ha sido la práctica tradicional, es tediosa y puede llevar a periodos sin supervisión, lo que aumenta el riesgo para los ajolotes [2].

La incorporación de la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) en este proyecto es fundamental. Al utilizar sensores conectados a plataformas digitales, se asegura un monitoreo continuo y se reciben alertas inmediatas en caso de problemas en las condiciones del agua. Esto no solo mejora el cuidado de los ajolotes, sino que también facilita la labor de los cuidadores y reduce el riesgo de errores humanos.

Además, este proyecto tiene un valor educativo significativo. Al proporcionar datos en una plataforma digital, se puede educar a cuidadores y entusiastas sobre la importancia crítica de mantener los parámetros fisicoquímicos adecuados para los ajolotes. Al compartir esta información, se crea conciencia sobre la delicada situación de esta especie y se promueve su conservación y el entendimiento de su relevancia para el equilibrio del medio ambiente.

### 4. Productos o Resultados esperados

- **Dispositivos de monitoreo IoT:** Equipos diseñados específicamente para estanques y acuarios de ajolotes, capaces de rastrear condiciones como el pH, la temperatura y otros factores vitales del agua.
- **Aplicación móvil:** Una plataforma digital accesible para los cuidadores que muestre de manera clara e intuitiva los datos recogidos por los dispositivos. Esta aplicación podría ofrecer gráficos de tendencias, alertas y recomendaciones basadas en las condiciones actuales.
- **Sistema de alerta automático:** Un sistema que notifique de manera inmediata a los responsables cuando las condiciones del agua se desvíen de los parámetros ideales, garantizando intervenciones rápidas para salvaguardar el bienestar de los ajolotes.



**Figura 1.** Diagrama a bloques del sistema  
Fuente(s): Elaboración propia

## 5. Metodología

La metodología que se utilizará para realizar nuestro sistema de monitoreo será la metodología en V [14]. Esta metodología define los procedimientos de gestión de la calidad que se asocian a cada fase y detalla cómo estas fases individuales pueden interactuar entre sí. Concebida en los años 70 como una evolución del modelo de cascada, su nombre proviene de su estructura, que recuerda a la letra V.

En la figura 3 se muestra un diagrama que representa la metodología en V.



**Figura 3.** Diagrama de la metodología en V

Se eligió ya que minimiza los riesgos y mejora la planificación del desarrollo del sistema, además de facilitarnos la detección de errores a etapas tempranas ya que después de cada fase de desarrollo se harán pruebas, esto nos ayudara a tener un buen control en el estado de nuestro sistema de monitoreo y evitara errores fatales en entregas. Esto es un factor muy importante ya que errores en nuestro sistema podría poner en riesgo la vida de los ambystomas.

## FASES DE DESARROLLO (IZQUIERDA DE LA “V”)

### Requisitos del sistema

#### Requisitos funcionales del sistema

- Integrar sensores capaces de medir los parámetros fisicoquímicos del agua: pH, oxígeno disuelto y temperatura.
- Los sensores deben ser capaces de realizar mediciones continuamente o en intervalos preestablecidos.
- Crear una plataforma o aplicación que muestre las lecturas en tiempo real de cada sensor.
- Presentar una visualización gráfica (gráficos de línea/tendencia) de la evolución de los parámetros con el tiempo.
- Proveer opciones para definir y ajustar los rangos óptimos de cada parámetro.
- Almacenar las mediciones de los sensores en una base de datos centralizada para análisis y respaldo de datos.

#### Requisitos no funcionales

- La plataforma o aplicación debe ser intuitiva y fácil de usar, evitando que los cuidadores dediquen demasiado tiempo a la capacitación.
- Los sensores y el sistema de monitoreo deben ser confiables y precisos en sus mediciones.
- Las alertas deben ser entregadas en tiempo y forma, asegurando que las desviaciones sean atendidas rápidamente.
- El sistema debe ser compatible con dispositivos móviles
- Los sensores y componentes electrónicos deben ser resistentes al agua y a las condiciones del ajolotario.
- La base de datos debe garantizar la integridad y seguridad de los datos, asegurando que no haya pérdida o manipulación indebida de la información.

### Diseño del sistema

El sistema constará de tres componentes principales:

- **Sensores:** Estos dispositivos estarán sumergidos en el agua y serán responsables de medir los parámetros fisicoquímicos. Estarán conectados a un módulo central que recopilará y procesará los datos.
- **Módulo central de procesamiento:** Este módulo recopilará los datos de los sensores, los procesará y los enviará a la plataforma de monitoreo. También será responsable de enviar alertas en caso de desviaciones.
- **Plataforma de monitoreo:** Esta será una aplicación o plataforma web que mostrará las lecturas en tiempo real, gráficos de tendencia y permitirá a los cuidadores definir y ajustar los rangos óptimos. También recibirá y mostrará alertas.
- **Base de datos:** Está nos ayudara a tener un control de los datos de forma ordenada, mandando la información pertinente a cada usuario dependiendo de su labor de cuidado.

El diseño de la figura 2 proporciona una visión general de cómo se interconectan los diferentes componentes del sistema y cómo fluye la información entre ellos.

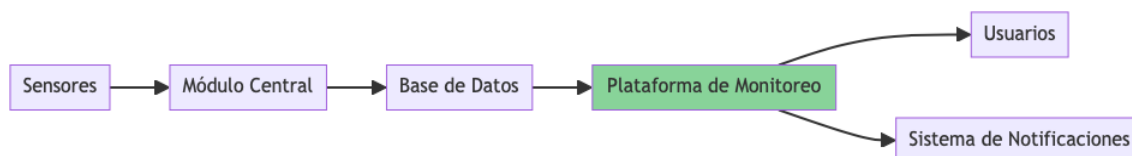


Figura 2. Diseño del sistema en alto nivel  
Fuente(s): Elaboración propia

- Sensores: Son los encargados de recopilar datos sobre las condiciones del agua.
  - Módulo central: Procesa la información recopilada por los sensores.
  - Base de datos: Almacena la información procesada para su posterior análisis y visualización.
  - Plataforma de monitoreo: Permite a los usuarios visualizar y analizar la información almacenada en la base de datos.
  - Usuarios: Son quienes acceden a la plataforma para monitorear las condiciones del agua.
- Sistema de notificaciones: Envía alertas a los usuarios cuando se detectan condiciones no óptimas en el agua.

## **Implementación del sistema**

### **1. Sensores y Módulo de Adquisición:**

Los sensores son vitales para medir las variables esenciales del agua, tales como el pH, la cantidad de sólidos disueltos, la temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Se diseñará un módulo específico para alojar y conectar los sensores. Este módulo garantizará una correcta conexión y alimentación de cada sensor, además de protegerlos de posibles daños externos.

El dispositivo electrónico de adquisición, o módulo central, funcionará como el cerebro del sistema, procesando y analizando los datos recopilados por los sensores.

### **2. IoT y Conexión:**

Gracias al IoT, el módulo central se conectará a internet, permitiendo la transmisión en tiempo real de los datos recopilados hacia la base de datos y la plataforma de monitoreo.

Cada sensor, mediante el módulo central, estará interconectado a través de la red, permitiendo que los datos recolectados se sincronicen y actualicen continuamente en la nube.

Es esencial tener en cuenta las especificaciones de voltaje y corriente para garantizar una conexión segura y efectiva, así como protocolos de seguridad para proteger la transmisión de datos.

### **3. Base de Datos:**

A través de la tecnología IoT, se diseñará y establecerá una base de datos en la nube que almacenará y gestionará todos los datos recopilados por los sensores en tiempo real.

Esta base de datos garantizará accesibilidad constante, permitiendo consultas y análisis desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Se contemplarán aspectos críticos como la integridad de los datos, la seguridad de la información y la capacidad de almacenamiento.

### **4. Software y plataforma de monitoreo:**

El software, integrado con soluciones IoT, se encargará de leer los datos de los sensores, procesarlos, y enviarlos a la plataforma de monitoreo y la base de datos en la nube.

La plataforma de monitoreo, accesible a través de dispositivos móviles y computadoras, mostrará los datos en tiempo real, permitiendo a los cuidadores y responsables actuar inmediatamente ante cualquier anomalía.

Las alertas generadas por desviaciones en los parámetros se enviarán en tiempo real a los usuarios, gracias a la interconexión IoT, asegurando una respuesta rápida y eficiente.



**Pruebas de integración:** Las pruebas de integración tienen como objetivo verificar que diferentes módulos o servicios del sistema trabajen correctamente cuando se integran entre sí. Para el sistema de monitoreo de la calidad del agua para ajolotes, aquí te propongo algunas pruebas de integración que podrías realizar:

- Prueba de Sensor-módulo central de procesamiento:
  - Objetivo: Verificar que cada sensor pueda enviar datos correctamente al módulo central de Procesamiento y que este pueda leer y procesar estos datos.
  - Procedimiento: Sumergir cada sensor en una solución con valores conocidos y verificar que el módulo central de procesamiento lea y procese estos valores correctamente.
- Prueba de alertas del módulo central de procesamiento:
  - Objetivo: Asegurarse de que el módulo central de procesamiento pueda detectar cuando los valores leídos se desvíen de los rangos óptimos y genere una alerta.
  - Procedimiento: Simular valores fuera de rango (por ejemplo, un pH muy alto o bajo) y verificar que el módulo central de procesamiento genere una alerta.
- Prueba de módulo central de procesamiento-plataforma de monitoreo:
  - Objetivo: Verificar que el módulo central de procesamiento pueda enviar datos a la plataforma de monitoreo y que esta última los reciba y muestre correctamente.
  - Procedimiento: Hacer que el módulo central de procesamiento envíe datos ficticios y verificar que se muestren correctamente en la plataforma.
- Prueba de alertas en la plataforma de monitoreo:
  - Objetivo: Asegurarse de que, cuando el módulo central de procesamiento envíe una alerta, la plataforma de monitoreo la reciba y notifique al usuario.
  - Procedimiento: Simular una alerta desde el módulo central de procesamiento y verificar que la plataforma de monitoreo notifique al usuario.
- Prueba de Calibración de Sensores:
  - Objetivo: Verificar que los sensores puedan ser calibrados correctamente a través del sistema.
  - Procedimiento: Utilizar soluciones de calibración con valores conocidos y ajustar los sensores a través del sistema. Luego, verificar que los sensores midan estos valores correctamente.
- Prueba de Durabilidad de los Sensores en el Agua:
  - Objetivo: Asegurarse de que los sensores funcionen correctamente incluso después de estar sumergidos en agua durante un período prolongado.
  - Procedimiento: Sumergir los sensores en agua durante un tiempo prolongado (por ejemplo, una semana) y luego verificar que sigan funcionando correctamente.
- Prueba de Conexión a Dispositivos Móviles:
  - Objetivo: Verificar que la plataforma de monitoreo sea accesible y funcione correctamente en dispositivos móviles.
  - Procedimiento: Acceder a la plataforma desde diferentes dispositivos móviles y verificar que se pueda visualizar y operar correctamente.

## **FASES DE PRUEBA (DERECHA DE LA “V”)**

### **Pruebas del Sistema:**

**Objetivo:** Asegurarse de que el sistema completo, incluyendo hardware y software, funcione de manera integral y cumpla con los requisitos del sistema.

**Simulación de Entorno Real:** Configurar un entorno que simule las condiciones reales de un ajolotario. Esto incluiría agua con características similares y, si es posible, ajolotes reales.

**Prueba de Funcionalidad:** Verificar que todos los sensores midan correctamente y que los datos se muestren en la plataforma de monitoreo. Además, asegurarse de que las alertas se generen y envíen correctamente cuando los valores se desvíen de los rangos óptimos.

**Prueba de Resistencia:** Verificar que el sistema pueda funcionar de manera continua durante largos períodos de tiempo sin fallos.

**Prueba de Interfaz:** Asegurarse de que la plataforma de monitoreo sea fácil de usar y que presente los datos de manera clara y comprensible.

### **Validación y Verificación:**

**Objetivo:** Confirmar que el sistema cumple con todos los requisitos y es apto para su uso previsto.

**Revisión de Requisitos:** Comparar las funcionalidades del sistema con los requisitos iniciales para asegurarse de que todos se hayan implementado correctamente.

**Pruebas con Usuarios:** Invitar a cuidadores o expertos en ajolotes a usar el sistema y recopilar sus comentarios y feedback. Esto ayudará a validar que el sistema es útil y apto para su propósito.

**Documentación:** Asegurarse de que se haya proporcionado toda la documentación necesaria, incluyendo manuales de usuario, guías de calibración de sensores y procedimientos de alerta.

### **Entrega y Mantenimiento:**

**Objetivo:** Entregar un sistema funcional al cliente y garantizar su operación continua.

**Instalación:** Instalar el sistema en el ajolotario del cliente, asegurándose de que todos los sensores estén correctamente posicionados y que la plataforma de monitoreo esté accesible.

**Capacitación:** Proporcionar formación a los cuidadores o al personal encargado sobre cómo usar el sistema, cómo interpretar los datos y cómo actuar en caso de alertas.

**Mantenimiento preventivo:** Establecer un calendario para revisar y calibrar los sensores regularmente, así como para actualizar el software si es necesario.

**Soporte:** Proporcionar un canal de comunicación para que el cliente pueda reportar problemas o hacer preguntas sobre el sistema. Esto podría incluir soporte telefónico, por correo electrónico o incluso visitas in situ si es necesario.

Nombre del protocolo: Guerrero Perez Brandon Josue

Título del TT: Sistema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua para la conservación ex-situ de especies de género *ambystoma*.

[illegible]

Nombre del alumno: Cazares Cruz Jeremy Sajid

Título del TT: Sistema de monitoreo de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua para la conservación ex-situ de especies de género *ambystoma*.

[illegible]

## 7. Referencias

- [1] Ardiaca, M., Montesinos, A. Cuidados del ajolote mexicano [Online]. Available: <https://cvsauces.com/cuidados-del-ajolote/>
- [2] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2018, 13 de septiembre). Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) [Online]. Available: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programa-de-conservacion-de-especies-en-riesgo>
- [3] El ajolote: cuidado y mantenimiento [Online]. Available: <https://clnicanido.es/ajolote/>
- [4] Mena, H., Sérvín, E. (2014, 10 de febrero). Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) [Online]. Available: [http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual\\_axolotes.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual_axolotes.pdf)
- [5] Agencia Reforma. (2019, 18 de julio). Preocupa la muerte de 14 ajolotes en parque Azcapotzalco [Online]. Available: <https://www.debate.com.mx/cdmx/Preocupa-la-muerte-de-14-ajolotes-en-parque-Azcapotzalco-20190718-0020.html>
- [6] López, J. (2022, 16 de febrero). Alcaldes se comprometen a preservar el ajolote en CDMX [Online]. Available: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/alcaldes-se-comprometen-a-preservar-el-ajolote-en-cdmx/1498992#:~:text=Inform%C3%B3%20que%20en%20la%20zona,expertos%20de%20Cuba%20y%20Jap%C3%B3n>
- [7] SEMARNAT. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. [Online]. Available: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- [8] Ahedo, C. (2019). Diseño y planeación de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) intensiva de axolote mexicano (*Ambystoma mexicanum* Shaw y Nodder 1798) [Online]. Available: <http://132.248.9.195/ptd2019/abril/0787938/0787938.pdf>
- [9] Yarto, E., Citaku, I., González, V., Rangel, J. (2020). MANEJO Y CUIDADOS PARA AJOLOTES (*A. mexicanum*, *A. andersoni*, *A. dumerilii*) BAJO CUIDADO HUMANO EN EL PARQUE ZOOLOGICO BENITO JUÁREZ [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/342283537\\_MANEJO\\_Y\\_CUIDADOS\\_PARA\\_AJOLOTES\\_A\\_mexicanum\\_A\\_andersoni\\_A\\_dumerilii\\_BAJO\\_CUIDADO\\_HUMANO\\_EN\\_EL\\_PARQUE\\_ZOOLOGICO\\_BENITO\\_JUAREZ#:~:text=,Los%20nitritos%20son%20gene](https://www.researchgate.net/publication/342283537_MANEJO_Y_CUIDADOS_PARA_AJOLOTES_A_mexicanum_A_andersoni_A_dumerilii_BAJO_CUIDADO_HUMANO_EN_EL_PARQUE_ZOOLOGICO_BENITO_JUAREZ#:~:text=,Los%20nitritos%20son%20gene)
- [10] Olivio, M., Verduzco, J., Garcia, N., Villalobos, J., Olivio, A. (2018, 26 de enero). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109001>
- [11] Loxone. Acuario automático [Online]. Available: <https://www.loxone.com/es/es/kb/acuario-automatico/>
- [12] FLUVAL. Kit de acuario Edge, 12 gal EE.UU./46 L [Online]. Available: <https://fluvalaquatics.com/us/shop/product/edge-aquarium-kit-12-us-gal-46-l>
- [13] Neptune Systems. LA SERIE A3 DE CONTROLADORES APEX [Online]. Available: <https://www.neptunesystems.com/a3-apex-series/>
- [14] Olivio, M., Verduzco, J., Garcia, N., Villalobos, J., Olivio, A. (2018, 26 de enero). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458109001>

[15] (2020, 28 de septiembre). ¿Qué es el modelo V? [Online]. Available: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/modelo-v/#:~:text=Las%20ventajas%20del%20modelo%20V,-Optimizaci%C3%B3n%20de%20la&text=Minimizaci%C3%B3n%20de%20riesgos%20y%20mejor,de%20la%20calidad%20firmemente%20integradas.>

## 8. Alumnos y Directores

Cazares Cruz Jeremy Sajid.- Alumno  
de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en  
ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2021630179, Tel.  
55480109162, email jcazaresc1600@alumno.ipn.mx

Firma: 

Guerrero Pérez Brandon Josué.- Alumno  
de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en  
ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2021630336, Tel.  
5635332993, email bguerrerop1600@alumno.ipn.mx

Firma: 

Dra. Úrsula Samantha Morales Rodríguez – Doctorado  
en Ciencias de la Computación (2022) y M. en C. en  
Ingeniería de Cómputo (2018) del Centro de  
Investigación en Computación del Instituto Politécnico  
Nacional. Ingeniería en Sistemas Computacionales (2016)  
de la Escuela Superior de Cómputo – IPN. Áreas de  
interés: Reconocimiento de patrones, procesamiento de  
señales, modelado biológico, caracterización de cuerpos  
de agua, IA. E-mail: umoralesr@ipn.mx Profesora interina.

Firma: 

Rodríguez Jordán Gabriel de Jesús. Ingeniero en  
sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de  
México en 2013, M. C. en ingeniería de cómputo por el  
Centro de investigación en computación del Instituto  
politécnico nacional en 2016. Actualmente es  
doctorando en ciencias de la computación en el Centro  
de investigación en computación.  
Sus áreas de interés son sistemas expertos, inteligencia  
artificial, compiladores. Email:  
gabrielrodriguezj@gmail.com. Profesor interino.

Firma: 

CARÁCTER: Confidencia  
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículo  
108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acces  
a la Información Pública  
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono