

# SISTEMA TELEMÁTICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES MICROAMBIENTALES UTILIZANDO LoRaWAN EN EL MARCO DE LA e-AGRICULTURA. PROPUESTA PARA LA ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA ENA

**Elvis Moisés Martínez Pérez**

Ingeniero en Sistemas Informáticos, Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería en Computación. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla. Correo electrónico: emmartinez@itca.edu.sv

**Rina Elizabeth López de Jiménez**

Ingeniera en Sistemas Informáticos, Docente Coinvestigadora de la Escuela de Ingeniería en Computación. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central, Santa Tecla. Correo electrónico: rina.lopez@itca.edu.sv

Recibido: 14/04/2021 - Aceptado: 16/08/2021

## Resumen

La Escuela de Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE en asociación con la Escuela Nacional de Agricultura “Roberto Quiñonez” ENA, diseñó un sistema telemático que permitirá el monitoreo y control de variables microambientales en un invernadero y una estación acuícola utilizando tecnología LoRaWAN, en el marco de la e-Agricultura. La e-Agricultura permite mejorar los procesos tradicionales con la ayuda de las Tecnologías de la Información y la Comunicación; el Internet de las Cosas es el potenciador de muchas innovaciones aplicadas a la agricultura. Este proyecto consta de dos etapas, la primera es la construcción de una herramienta de software que controlará las variables micro ambientales de un invernadero, temperatura, radiación solar y humedad de una estación de acuicultura, temperatura del agua, nivel de PH y nivel de oxígeno disuelto. El sistema almacenará los datos utilizando tecnología Big Data y para su análisis e interpretación de datos será a través de Business Intelligence. En la segunda etapa se incluirá la construcción de las estaciones de monitoreo, que se instalarán dentro de un invernadero y una estación de acuicultura en el campus de la ENA, utilizando la tecnología LoraWan como medio de transmisión y comunicación, siendo un proyecto innovador en el área de agricultura en El Salvador.

## Palabras clave

Tecnología agrícola, Internet de las Cosas (IoT), Business Intelligence, Big Data, LoraWan, control microambiental.

**TELEMATIC SYSTEM FOR THE MONITORING AND CONTROL OF MICROENVIRONMENTAL VARIABLES USING LoRaWAN WITHIN THE FRAMEWORK OF e-AGRICULTURE. PROPOSAL FOR THE ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA ENA**

## Abstract

The Escuela de Ingeniería en Computación de ITCA-FEPADE in association with the Escuela Nacional de Agricultura “Roberto Quiñonez” (ENA), designed a telematic system that will allow the monitoring and control of microenvironmental variables in a greenhouse and an aquaculture station using LoRaWAN technology, within the framework of e-Agriculture. E-Agriculture makes it possible to improve traditional processes with the help of Information and Communication Technologies; the Internet of Things is the enhancer of many innovations applied to agriculture. This project consists in two stages; the first is the construction of a software that controls the microenvironmental variables of a greenhouse, temperature, solar radiation and humidity of an aquaculture station, water temperature, PH level and dissolved oxygen level. The system will store the data using Big Data technology and its analysis and interpretation it will be through Business Intelligence. The second stage will include the construction of the monitoring stations, installed inside a greenhouse and an aquaculture station on the ENA campus, using LoraWan technology as transmission and communication medium, being an innovative project in the agriculture area in El Salvador.

## Keyword

Agricultural technology, Internet of Things (IoT), Business Intelligence, Big Data, LoraWan, microenvironmental control.

## Introducción

Con el surgimiento de la Industria 4.0 o también llamada Industria Inteligente, aparecen tecnologías tanto de comunicación, inteligencia artificial, almacenamiento en la nube y otras. Las Instituciones de Educación Superior (IES), deben servir de referente para la enseñanza y uso de estas tecnologías.

Este proyecto está dividido en dos etapas, siendo la primera el desarrollo de una aplicación del tipo dashboard o panel de control para el monitoreo de variables microambientales, tales como temperatura, humedad relativa y radiación solar para un invernadero y para la estación acuícola, temperatura del agua, nivel de PH y nivel de Oxígeno Disuelto (OD). Esta herramienta innovadora utilizará tecnología Big Data como medio de almacenamiento, Laravel como framework de desarrollo y Business Intelligence (BI) para la parte de análisis e interpretación de datos.

En esta etapa se desarrollará una herramienta informática para aquellas instituciones que quieran implementar, tecnología en el proceso de producción de invernaderos o estaciones acuícolas.

La segunda etapa consistirá en la construcción de las estaciones de monitoreo, con ayuda de Arduinos y tecnología LoRaWAN o red de largo alcance, como medio de transmisión de datos. Esta es una tecnología innovadora en El Salvador, de la que únicamente existen 3 empresas que la han implementado, SVNNet, Hackerspace y DISMATEL.

## Marco Teórico

### A. Escuela Nacional de Agricultura ENA

Nace con la visión de brindar oportunidades a jóvenes de familias de escasos recursos económicos, con vocación agrícola y provenientes de todo el territorio nacional. Así como con el firme objetivo de proveer de profesionales capacitados al agro nacional. Como un tributo al hombre que dedicó tiempo y esfuerzo para que este proyecto se hiciera realidad, la Escuela fue bautizada con el nombre de su fundador Don Roberto Quiñónez.[1]

### B. e-Agricultura

Es un campo emergente para mejorar la agricultura sustentable y seguridad alimentaria. Una mayor adopción de servicios de banda ancha inalámbrica potenciaría a la agricultura en el proceso productivo y de comercialización, aumentando su eficacia.

La e-Agricultura busca promover la sostenibilidad y seguridad

alimentaria por medio del uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Su implementación sería un gran aporte para el sector agrícola de América Latina, dado que mejoraría sus condiciones de producción y comercialización, según se explica en el estudio “e-Agricultura en América Latina”, publicado recientemente por 5G Américas. [2]

### C. Estaciones Acuícolas

El cultivo de peces y otros organismos vivos acuáticos requiere de ambientes de fácil manejo, que se puedan secar o llenar con rapidez y con posibilidad de modificar sus condiciones físicas y químicas. A estos ambientes se les denomina estanques. También se pueden cultivar especies vivas acuáticas en espacios limitados por cercos de redes de distintos materiales: sintético, de hierro. A estos recintos se les denomina jaulas y corrales.

### D. Business Intelligence

El término Business Intelligence (BI por sus siglas en inglés) Inteligencia de Negocio hace referencia al uso de estrategias y herramientas que sirven para transformar información en conocimiento, con el objetivo de mejorar el proceso de toma de decisiones en una empresa, (blog.signaturit.com).

### E. Big Data

Es una disciplina que se ocupa de todas las actividades relacionadas con los sistemas que manipulan grandes conjuntos de datos. Las dificultades más habituales vinculadas a la gestión de estas cantidades de datos se centran en la recolección, almacenamiento, búsqueda, compartición, análisis, y visualización de datos para diferentes análisis de modelos predictivos, (docplayer.es).

### F. LoRaWAN

Es una especificación de redes LPWAN (Low Power Wide Area Network). Atendiendo a los niveles OSI, sería el nivel 2 (red). Es lo que se conoce como MAC (Media Access Control). LoRaWAN se encarga de unir diferentes dispositivos LoRa gestionando sus canales y parámetros de conexión: canal, ancho de banda, cifrado de datos, etc. [3]

Esta tecnología es ideal para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT que se pueden utilizar en ciudades inteligentes, lugares con poca e-cobertura celular o redes privadas de sensores o actuadores.

LoRaWAN se usa en:

- ◆ Conexiones punto a punto (P2P) o máquina a máquina.
- ◆ Redes de sensores en ciudades, campo o industria.
- ◆ Redes IoT donde no se requiere transferir voz o video.
- ◆ Redes privadas que no requieren conectarse a servicios en la nube o donde no hay cobertura celular.

## G. Sensores que Miden Parámetros Medioambientales

- Sensor de temperatura y humedad
- Sensor de irradiación total
- Sensor de humedad del suelo o del sustrato
- Sensor de nivel de PH en el agua
- Sensor de Oxígeno disuelto en el agua

Estos sensores miden diversos datos medioambientales, los cuales pueden ser enviados a una base de datos o a una computadora. Basado en los conceptos y tecnologías anteriores, se han encontrado dispositivos que permiten la conexión con sensores en la agricultura, que envían la información vía satélite.

## Metodología de la Investigación

Se desarrolló una aplicación de tipo dashboard, empleada para monitorear el estado de las variables ambientales, tanto para un invernadero como para un estanque acuícola de la ENA.

Para tal fin, la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE contó con la ayuda de un grupo de estudiantes previamente seleccionados de la carrera de Ingeniería en Desarrollo de Software, así como la colaboración del personal responsable de los invernaderos y estanques acuícolas de la ENA.

La fase uno del proyecto consistió en la investigación técnica que permitió la recolección de la información necesaria para determinar qué tecnologías simplificarían el desarrollo de la aplicación web y su medio de transmisión idóneo para zonas extensas, en donde el Wifi se vuelve complicado. En esta fase, el equipo de trabajo de ITCA-FEPADE obtuvo todos los requerimientos funcionales del proyecto.

En la fase dos se llevó a cabo el trabajo de análisis y diseño del aplicativo multiplataforma que se realizó al mismo tiempo que la recopilación de datos. En esta parte, el equipo de trabajo estableció las herramientas óptimas para la programación de la App. Para el módulo web se determinó que el más indicado por su facilidad de uso y seguridad era con el framework Laravel complementado con otros lenguajes como JavaScript.

La fase tres se enfocó en el desarrollo y prueba del aplicativo. En esta etapa se realizó la codificación del aplicativo y su respectiva prueba en ambiente simulado. Puesto que no se cuenta con los sensores y la infraestructura de red instalados, se han simulado las lecturas que enviará la estación de monitoreo. Será necesario establecer políticas de seguridad dentro del servidor donde estará alojada la aplicación web.

Para la fase cuatro ITCA-FEPADE podrá brindar la asesoría

necesaria para la supervisión e implementación de la infraestructura de comunicación con tecnología LoRaWAN, así como la construcción de las estaciones de monitoreo en el invernadero y en los estanques, esta fase será planificada oportunamente con la ENA y podrá ser ejecutada por ésta o por cooperativas del sector agrícola que dispongan de los fondos en su presupuesto para la adquisición de los equipos y accesorios.



Fig. 1. Personal de la ENA con docentes investigadores de ITCA-FEPADE durante visita técnica para toma de requerimientos en un invernadero.

Dentro de la metodología se preparará, un servidor LAMP, el cual es un acrónimo de Linux, Apache, MongoDB y PHP. En esta pila (stack), Linux sirve como el sistema operativo para la aplicación web. MongoDB se utiliza como base de datos. Apache versión 2.4 se utiliza como servidor web. PHP versión 7.2 se utiliza para procesar contenido dinámico. Para el proyecto se ha utilizado Ubuntu 18.04 como versión del sistema operativo Linux. [4]

Como framework de desarrollo para PHP se utilizó Laravel versión 6.0.

La aplicación multiplataforma fue desarrollada con Laravel como framework principal con PHP. Se utilizó código Javascript con la librería Highcharts bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial. Para la conexión a la base de datos se utilizaron librerías propias de Laravel para MongoDB.

## Resultados

### A. Aplicación web para el monitoreo y control de variables microambientales

La aplicación desarrollada, es capaz de ejecutarse en cualquier tipo de pantalla, que van desde teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras de escritorio. La descripción de la funcionalidad de las pantallas más importantes del aplicativo son las siguientes:

### 1. Pantalla de inicio

Después de identificarse en el sistema, se mostrará la pantalla principal en donde se observa el listado de las estaciones activas y la información de la estación seleccionada.



Fig. 2. Pantalla principal la aplicación desarrollada



Fig. 3. Detalle de estación seleccionada con niveles de temperatura y humedad.

### 2. Notificaciones

Las notificaciones son alertas que se muestran en pantalla al momento que una estación envía un valor fuera de rango de cualquiera de sus variables microambientales que se estén controlando, permitiéndole al responsable de la estación, invernadero o estanque, tomar las medidas necesarias para verificar el problema reportado. Al seleccionar el botón de notificaciones se mostrarán las últimas 3 alertas que se hayan recibido en el sistema, indicando si los datos son válidos o no.



Fig. 4. Alertas recibidas por valores fuera de rango

### 3. Pantalla de administración

En ésta se muestran las estaciones activas y no activas, así como los respectivos botones para el mantenimiento.

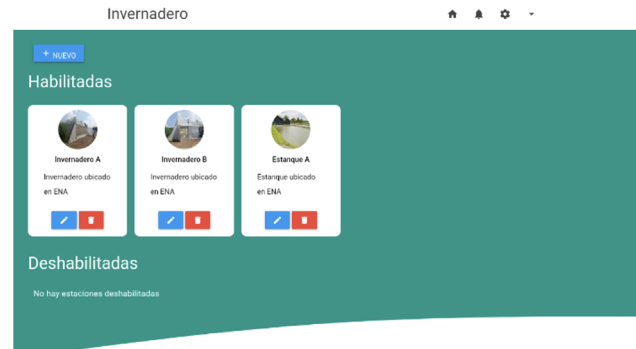


Fig. 5. Catálogo de estaciones registradas para su posterior mantenimiento.

## B. Análisis de datos

Basándose en el modelo de bases de datos no relacionales desarrollados en este proyecto, se planteó un diseño de bases de datos multidimensional para realizar un análisis de los datos y poder representarlos de una forma más ordenada y organizada, para lo cual se utilizó el software de inteligencia de negocios llamado Power Bi.

### 1. Orígenes de datos

Se desarrollaron 3 orígenes de datos provenientes de la base de datos no relacional, los cuales se incluyeron en el proyecto de inteligencia de negocios. Para cada uno se crearon nuevas medidas o measures y campos calculados para poder obtener una mejor representación de los datos como : promedios, mínimos, máximos.

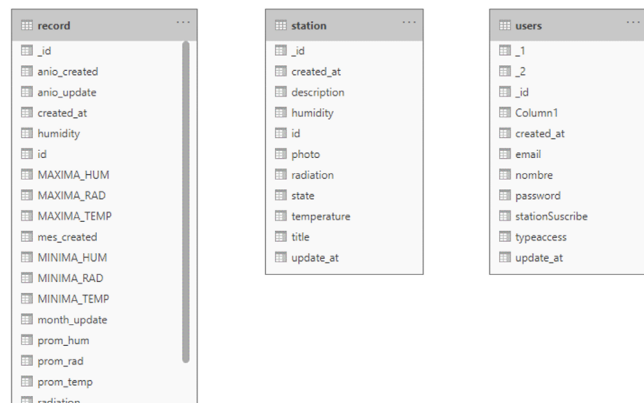


Fig. 6. Modelo de Inteligencia de Negocio utilizado.

Para las pruebas realizadas se ingresaron datos en cada una de las medidas y dimensiones; fueron generados aleatoriamente, simulando un ambiente parecido a las condiciones de un

invernadero o estación acuícola ya que no se cuenta aún con la tecnología de hardware y de red para el envío de datos.

### 2. Informes y dashboard

Para la creación del informe se utilizaron elementos como tablas, gráficos circulares, gráficos de áreas, indicadores de promedios y otros, mostrado en la siguiente imagen:

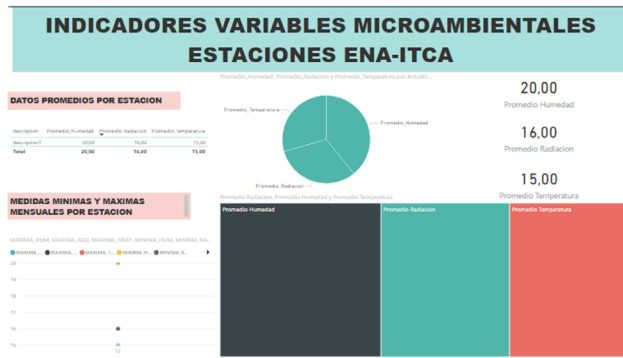


Fig. 7. Dashboard creado para la representación de datos de las estaciones ubicadas en el invernadero de la ENA.

### 3. Publicación de informes

Una vez finalizado el diseño de los informes y dashboard, estos pueden compartirse a través de la herramienta de publicación de informes de Power BI. Esta herramienta tiene 2 versiones, una para desktop que es gratuita y el Servicio Power BI online que es de paga. Sin embargo, a través de Office 365 de Microsoft se puede acceder a la versión online. Los informes se publicarán en el sitio web desarrollado específicamente para el proyecto en formato PDF.



Fig. 8. Dashboard publicado en el servicio de Power BI.

## Conclusiones

1. Se realizó un estudio de requerimientos para la selección de las herramientas óptimas del proyecto, estableciendo Laravel como framework de desarrollo, Javascript y PHP.

2. Por los efectos que ha causado la pandemia COVID-19, el proyecto se dividió en dos etapas. La primera es el desarrollo de la herramienta de software y la segunda consistirá en la construcción de las estaciones de monitoreo y la instalación de la infraestructura de red con LoRaWAN.
3. Al considerar los requerimientos de la ENA y del equipo investigador, se diseñó un modelo informático con metodología de e-Agricultura, Big Data y Business Intelligence y un sistema de comunicación LoRaWAN.
4. La configuración del sistema telemático cuenta con un servidor seguro y confiable para el resguardo de los datos, la aplicación y monitoreo de las variables micro ambientales.
5. Al ser implementado este sistema telemático se dispondrá de una herramienta innovadora y de bajo costo para mejorar los procesos productivos de un invernadero o estación acuícola.
6. Es necesario que otras Instituciones de Educación Superior en El Salvador incursionen en la investigación para la aplicación de IoT en la e-Agricultura.

## Referencias

- [1] Escuela Nacional de Agricultura “Roberto Quiñonez”. “Marco institucional”. ena.edu.sv. <https://ena.edu.sv/marco-institucional> (Accedido: 31-ene-2020)
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La E-agricultura, un campo emergente para mejorar la agricultura sustentable y seguridad alimentaria. En Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe. Jul, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1026654/>. (Accedido: 31-ene-2020.)
- [3] Sabas, “Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN?”, Medium.com. <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>. (Accedido:05-abr-2021)
- [4] M. Drake y E. Heidi. “Cómo instalar en Ubuntu 18.04 la pila LAMP — Linux, Apache, MySQL y PHP”, DigitalOcean.com. <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/como-instalar-en-ubuntu-18-04-la-pila-lamp-linux-apache-mysql-y-php-es>. (Accedido: 24-feb-2020)