

APLICACIÓN DE BLOCKCHAIN PARA EL MONITOREO DE VARIABLES EN EL CULTIVO DE PLANTAS PARA CONSUMO HUMANO EN GRANJAS VERTICALES

BLOCKCHAIN APPLICATION FOR MONITORING VARIABLES IN PLANT CULTIVATION FOR HUMAN CONSUMPTION IN VERTICAL FARMS

Aldonso Becerra Sánchez

Universidad Autónoma de Zacatecas, México
a7donso@uaz.edu.mx

Adrián Ibarra González

Mine KPIs, México
a_drian1@outlook.es

Nivia Iracemi Escalante García

Tecnológico Nacional de México / IT de Pabellón de Arteaga, México
aivineg82@gmail.com

José Ernesto Olvera González

Tecnológico Nacional de México / IT de Pabellón de Arteaga, México
e.olvera.ltp@gmail.com

Gustavo Zepeda Valles

Universidad Autónoma de Zacatecas, México
gzepeda@uaz.edu.mx

René Ulises González Arroyo

Universidad Autónoma de Zacatecas, México
rene_ulises@uaz.edu.mx

Recepción: 22/noviembre/2023

Aceptación: 26/diciembre/2023

Resumen

La agricultura es una actividad clave para el desarrollo económico y social, aunque su producción se ve afectada por la disminución de las aguas subterráneas, el cambio climático, el aumento de población y la competencia por el uso de la tierra. La aplicación y adopción de la tecnología en la producción agrícola es fundamental y los Sistemas Cerrados de Producción de Plantas (CPPS) pueden ser una solución eficiente para optimizar la producción de cultivos de forma sustentable. En este

trabajo se propone la implementación con metodología ADD, de una red de sensores en Blockchain para monitorear, recolectar y procesar los parámetros físicos de temperatura, pH, humedad relativa y estado de lámparas (encendida/apagada); además de apoyar en el proceso de toma de decisiones dentro de un CPPS. La implementación de esta tecnología permite reducir tiempos de recolección, análisis y utilización de la información en los sistemas de tipo CPPS.

Palabras Clave: Blockchain, CPPS, Granjas verticales, Monitoreo de variables agrícolas.

Abstract

Agriculture is a key activity for economic and social development, although its production is affected by the decrease in groundwater, climate change, population growth and competition for land use. The application and adoption of technology in agricultural production is essential, and Closed Plant Production Systems (CPPS) can be an efficient solution to optimize crop production in a sustainable manner. This paper proposes the implementation, using ADD methodology, of a sensor network in Blockchain to monitor, collect and process the physical parameters of temperature, pH, relative humidity and lamp status (on/off); in addition to supporting the decision-making process within a CPPS. The implementation of this technology makes it possible to reduce times of collection, analysis and use of information in CPPS-type systems.

Keywords: *Agricultural variables monitoring, Blockchain, CPPS, vertical farms.*

1. Introducción

La agricultura ha sido a lo largo del tiempo una de las actividades principales para el desarrollo de las civilizaciones, además de ser una de las razones claves para el cambio de vida nómada a sedentaria [Robledo-Arratia, 2014]. En la época más reciente se ha podido optimizar la producción de cosechas mediante el uso de pesticidas para controlar organismos vivos que puedan causar pérdidas económicas, daños, o transmitir y producir enfermedades [Díaz, 2018]. Además, con el avance en el estudio de la genética se han empezado a modificar los cultivos.

Esto se ha venido dando porque el mundo se enfrenta cada vez más a problemas globales que incluyen un clima inusual, contaminación ambiental y escasez de agua, combustibles fósiles y biomasa vegetal. Por ello se han ideado técnicas para optimizar los recursos de los que depende la agricultura, es el caso de los Sistemas Cerrados de Producción de Plantas (CPPS por sus siglas en inglés, Closed Plant Production Systems), los cuales son la creación de un ambiente artificial para el crecimiento de plantas utilizando luz artificial. El propósito de usar CPPS es maximizar el crecimiento de la planta con los aportes mínimos de energía lumínica, agua, CO₂ y fertilizante inorgánico [Kozai, 2013].

No se puede mejorar lo que no se puede contar, la utilización de tecnología para la extracción y análisis de los datos es clave para una mejora significativa y optimización de los recursos de las actividades agrícolas, además de que es importante para la automatización de muchas actividades de este tipo. Pero para lograr la extracción de datos se necesita un intermediario entre la tecnología y las plantas, para lo cual, en la actualidad se utilizan sensores que extraen cualquier tipo de valores necesarios para el analista.

Una red de sensores puede captar la temperatura ambiental, el pH de las plantas, la humedad relativa y otros parámetros que pueden ayudar a la detección de problemas en la producción de plantas. Con el avance de la tecnología se han creado técnicas para mejorar la recolección de los datos, como sistemas distribuidos y la utilización de sensores inalámbricos. Anteriormente, las redes de sensores consistían en una pequeña cantidad de nodos de sensores que estaban conectados a una estación central de procesamiento. Sin embargo, hoy en día la atención se centra más en los nodos de detección distribuidos e inalámbricos [Bharathidasan, 2002]. Para la situación actual donde existe un aumento de la población y un decremento de las lluvias, es indispensable adoptar técnicas de agricultura de precisión, permitiendo así reducir costos de producción y aumentar la productividad. En los últimos años existe gran innovación en tecnología para la red de sensores, dado que no solamente se conecta a una red local de comunicación, sino que escala la conexión directamente a internet, concepto denominado Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things). Este concepto es uno de los temas más populares hoy en

día, donde los sensores y dispositivos inteligentes facilitan la provisión de información y comunicación [Kiani, 2018].

A inicios de la implementación de Internet de las Cosas se utilizaban bases de datos y sistemas centralizados, pero a finales del siglo pasado se propuso un concepto llamado Blockchain. En esta plataforma el almacenamiento de la información y transacciones se realizan en una serie de nodos conectados, lo que ofrece muchas ventajas con respecto al paradigma tradicional de bases de datos centralizados [Xu, 2019], [Colomo-Palacios, 2020], [Tapscott, 2017]. En este sentido, Blockchain proporciona un almacenamiento confiable y un uso eficiente de los datos [Xu, 2019]. La descentralización en Blockchain se refiere a entregar la información a todo el mundo, en donde nadie puede manipular maliciosamente los datos dentro de la cadena. La aportación de Blockchain es muy beneficiosa para cualquier empresa, ya que se puede mejorar la transparencia de los datos y su seguridad.

La tecnología de Blockchain tiene el potencial de cambiar la gestión de la cadena de suministros [Xu, 2019]; desde la producción de los materiales, la transformación, el transporte y la venta, así los productos pueden ser monitoreados, confiando en la seguridad e integridad de los datos. Con la tecnología Blockchain, varios usuarios participan en la verificación y validación de transacciones [Bodkhe, 2020]. Una cadena de bloques reduce el riesgo de un ataque en un solo punto, ya que necesita el consenso de todos los nodos para validar la información. Cada uno de los bloques en la cadena está conectado a otro para asegurar la integridad a lo largo del tiempo. En la agricultura existen problemas que pueden ser resueltos a través de la implementación de este tipo de tecnología, como la seguridad alimentaria, monitoreo y detección de plagas y enfermedades, problemas durante el crecimiento del cultivo, obtención de alimentos con mayor contenido nutrimental, el costo de transporte, optimización en el uso de fertilizantes y pesticidas, por mencionar algunos. La comunidad científica ha propuesto soluciones para los problemas como la seguridad en el monitoreo con IoT, como el trabajo de los investigadores de la Universidad Nacional de Pukyong, donde aplican IoT para monitorear remotamente invernaderos [Patil, 2018]. O trabajos de aplicación de Blockchain para agricultura inteligente por parte del Instituto Tecnológico de Hyderabad, donde implementaron

una plataforma para obtener datos de los cultivos que sean de beneficio para los agricultores [Vangala, 2021]. En este sentido, otros proyectos propusieron un nuevo modelo de agricultura de precisión basado en sensores inalámbricos de temperatura, pH y humedad, y una transferencia de datos segura en la nube utilizando Blockchain [Anand, 2021].

El uso de la tecnología y la innovación se puede optimizar y crear una agricultura inteligente y precisa para afrontar los problemas actuales. En este sentido es necesario desarrollar mecanismos sostenibles de producción a través del uso de la tecnología. Como respuesta a los fenómenos presentados, es esencial adoptar métodos de producción eficientes y sostenibles mediante la aplicación de tecnología como los CPPS; como son granjas verticales, fábricas de plantas, cámaras de cultivo, cuartos de cultivo, fitotrones, ente otros. Todo esto se da con el fin de incrementar el crecimiento de las plantas para optimizar el consumo de energía, agua, temperatura, CO₂ y productos químicos. Pudiendo así cultivar cualquier variedad de planta independientemente de la estación del año.

El controlar y monitorear las variables de interés (humedad relativa del aire, temperatura ambiente, luminosidad, pH, conductividad, ente otras) es indispensable para la planificación e implementación de estrategias de contingencia dentro de los CPPS con el objetivo de obtener cultivos sanos y con alto contenido nutrimental. Es habitual contar con diversos sistemas de producción de plantas en donde no se realiza ningún monitoreo, proceso y control sobre las variables necesarias. Esto a menudo se realiza de manera manual, considerando los datos mostrados por los sensores que se encuentran fuera de las cámaras, dando lugar a un excesivo suministro de luz, agua, nutrientes; de igual manera se dan lecturas erróneas sobre los niveles de humedad, temperatura, además de la pérdida de cultivo, enfermedades en la planta, por mencionar algunas. Una alternativa es integrar un conjunto de sensores para el monitoreo de parámetros o variables de interés constante para la optimización del desarrollo y crecimiento de diferentes cultivos. Ligado a estos sensores, se requiere una herramienta tecnológica que proporcione la manera de extraer y mostrar la información necesaria, coadyuvando al proceso completo de los CPPS.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una aplicación de red de sensores a través de Blockchain, concediendo la gestión de datos de parámetros como temperatura, pH, humedad relativa y estado de las lámparas (encendida/apagada). Esto permitiría la monitorización dentro de los CPPS, propiciando beneficios en apoyo a generar un óptimo rendimiento en los diversos cultivos. La adopción de estas tecnologías digitales en los CPPS es fundamental para optimizar la producción de cultivos de forma eficiente y sustentable.

2. Métodos

En el desarrollo del trabajo se optó por utilizar la metodología ADD (Attribute Driven Design) para crear propuestas para evaluar los requerimientos del sistema. ADD, a través del diseño recursivo, descompone un sistema o los elementos de él con tácticas arquitectónicas y patrones que satisfacen sus drivers estructurales, siguiendo el proceso de: i) planeación, donde los atributos de calidad y las restricciones de diseño se consideran para seleccionar elementos que se utilizarán en la arquitectura; ii) ejecución, donde se crea el diseño tomando en cuenta los atributos de calidad elegidos; y iii) evaluación, donde se analizan los resultados para determinar que se satisfagan los atributos de calidad [Wojcik, 2006].

Entradas de la metodología ADD

Las entradas para el proceso ADD son los requerimientos funcionales, las restricciones de diseño y los atributos de calidad; donde estas entradas están definidas principalmente por las necesidades y objetivos de los usuarios y el negocio [Wojcik, 2006]:

- **Requerimientos funcionales.** Especifican las funcionalidades que debe proporcionar el sistema para cumplir las necesidades explícitas e implícitas, por ejemplo, "el sistema permitirá a los usuarios revisar la actividad de la cuenta".
- **Restricciones de diseño.** Son decisiones que deben incorporarse en cualquier diseño final del sistema, por ejemplo, "los servicios del sistema deben ser accesibles a través de la World Wide Web".

- Atributos de calidad. Son requisitos que indican el grado en el que el sistema debe exhibir alguna cualidad, por ejemplo, "performance: el sistema debe procesar los datos de los sensores en menos de un segundo".

Salidas de la metodología ADD

Como resultado del proceso ADD, se obtiene un diseño en términos de funciones, responsabilidades, propiedades y relaciones entre los diferentes elementos del software. El diseño resulta en diferentes vistas arquitectónicas, incluyendo vistas de los componentes, vistas de sus conexiones y de su locación en el espacio; describiendo en ello [Wojcik, 2006]:

- Cómo se divide el sistema en los principales elementos.
- Qué elementos forman parte de las estructuras del sistema, el tipo de cada elemento, las propiedades y relaciones estructurales que poseen.
- Qué interacciones ocurrirán entre los elementos, las propiedades de esas interacciones y los mecanismos por los cuales ocurren.

Pasos de la metodología ADD

El proceso ADD se sustenta en los siguientes pasos iterativos [Wojcik, 2006]:

- Se confirma que hay suficiente información sobre los requisitos: en esencia, se asegura de que las partes interesadas del sistema hayan priorizado los requisitos de acuerdo con los objetivos comerciales y de la misión.
- Se elige un elemento a descomponer: elige qué elemento del sistema será el foco de diseño en los pasos posteriores.
- Identificar los drivers arquitecturales candidatos: se ha elegido un elemento del sistema para descomponerlo y las partes interesadas han priorizado los requisitos que afectan a ese elemento.
- Se elige un concepto de diseño que satisfaga los drivers arquitecturales: se deben elegir los principales tipos de elementos que aparecerán en la arquitectura y los tipos de relaciones entre ellos.
- Definir interfaces para elementos instanciados: se definen los servicios, propiedades requeridas y proporcionadas por los elementos de software.

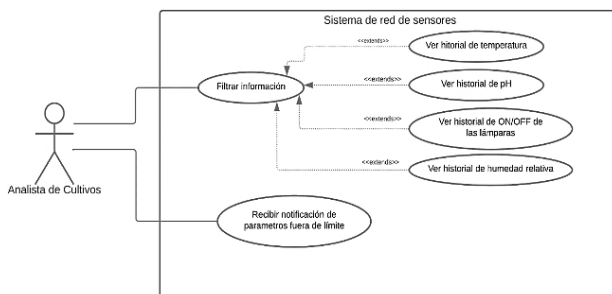
- Crear instancias de elementos arquitectónicos y asignar responsabilidades: instancia los tipos de elementos de software que eligió en el paso anterior. A los elementos instanciados se les asignan responsabilidades por su tipo.
- Verificar y refinar los requisitos y convertirlos en restricciones para los elementos instanciados: se verifica que la descomposición de elementos hasta el momento cumpla con los requisitos funcionales, los requisitos de atributos de calidad y las restricciones de diseño.
- Repetir los pasos 2 a 7 para el siguiente elemento del sistema que se desea descomponer: una vez que se hayan completado los pasos 1 a 7, se tendrá una descomposición del elemento principal en elementos secundarios.

Análisis de requerimientos

En laboratorios de iluminación artificial es tarea clave disponer de un conjunto de módulos para el estudio de crecimiento de plantas utilizando luz artificial, dichos módulos contienen sensores que monitorean parámetros y arrojan datos que necesitan ser filtrados y mostrados. Para hacerle frente al monitoreo desde distintos sensores, se desarrolla una solución descentralizada con Blockchain. En este sentido, se busca reducir el tiempo para recolección de los datos de los sensores en los módulos, a la vez que se puede reducir el tiempo de filtrado y visualización de la información. En ello es posible conectar el 100% de los sensores de los módulos, mientras que se permite la visualización de parámetros de temperatura, humedad relativa, estado de lámparas (encendido/apagado) y pH. La figura 1 plasma extensiones del caso de uso de filtrar información, como lo son el ver historial de temperatura, pH, estado de lámparas (encendido/apagado) y de la humedad relativa, además del caso de uso de recibir notificación de parámetros fuera de límite (el sistema constantemente solicita actualizaciones de parámetros de sensores, y en caso de encontrar un valor fuera del límite, manda notificación).

Diseño arquitectural

Las tablas 1 y 2 plasman las entradas previstas, objetivos de negocio y drivers arquitecturales que contemplan atributos de calidad, casos de uso y restricciones.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Diagrama de casos de uso del sistema propuesto.

Tabla 1 Objetivos de negocio.

ID	Nombre corto	Especificación
BO-1	Objetivo 1	Reducir el tiempo para recolección de los datos de los sensores en los módulos.
BO-2	Objetivo 2	Reducir el tiempo de filtrado y visualización de la información.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2 Drivers arquitecturales.

ID	Nombre corto	Especificación	Prioridad
DA-1	Interoperabilidad	El sistema manda una petición a los sensores en un entorno óptimo para actualizar los parámetros; los sensores reciben la señal y responden utilizando el mismo protocolo de comunicación.	Alta
DA-2	Seguridad	Un sensor externo no registrado en la cadena de bloques trata de actualizar datos en un entorno normal de operaciones. El sistema niega la actualización y da una notificación en menos de 10 segundos.	Alta
DA-3	Integridad	Dos analistas hacen petición para visualizar los datos al mismo tiempo en un entorno normal de operaciones. El sistema arroja la misma información de los parámetros en menos de 10 segundos.	Alta
DA-4	Ver historial de temperatura	El analista desea ver el historial de temperatura seleccionando el rango de fechas a filtrar.	Alta
DA-5	Ver historial de pH	El analista desea ver el historial de pH seleccionando el rango de fechas a filtrar.	Alta
DA-6	Ver historial de encendido/ apagado de lámparas	El analista desea ver el historial de encendido/apagado seleccionando el rango de fechas que desea.	Alta
DA-7	Ver historial de humedad relativa	El analista desea ver el historial de humedad relativa seleccionando el rango de fechas que desea.	Alta
DA-8	Recibir notificaciones de parámetros fuera de límite	El sistema constantemente solicita actualizaciones de los parámetros de los sensores; cuando encuentra un valor fuera del límite, manda una notificación.	Alta
DA-9	Calendario	La creación del sistema deberá ser entregada en un lapso no mayor de 6 meses.	Alta
DA-10	Tecnologías de implementación	Los datos se registran en una base de datos descentralizada Blockchain con el protocolo NEAR.	Alta

Fuente: elaboración propia.

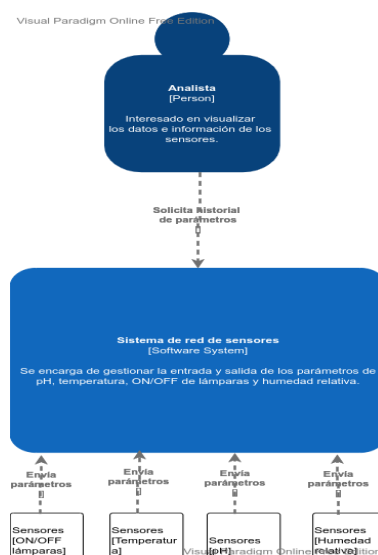
Dentro de los atributos de calidad se consideran la interoperabilidad, seguridad e integridad como propiedades importantes en el sistema; esto ayuda a decidir los componentes y responsabilidades para cada uno. Es necesario agregar también los casos de uso, ya que esto afecta principalmente a lograr el propósito del sistema; y finalmente los objetivos de negocio (Tabla 1) y restricciones (Tabla 2), los cuales

dan un panorama general de aspectos a tomar en cuenta en la implementación. Posteriormente se plasma el diseño en la estructuración principal y la asignación general de la funcionalidad primaria del sistema. Para la salida tenemos 3 componentes del sistema, el frontend, el controlador y la Blockchain API; en rasgos generales es una arquitectura de MVC, donde la base de datos es conectada por medio de la Blockchain API. El diseño se plasma en un catálogo de elementos (Tabla 3) que describe los componentes principales del sistema. El diagrama C4 de contexto de la figura 2 expone el propósito y el alcance del sistema; mientras que el diagrama C4 de contenedores (Figura 3) describe los 3 componentes del sistema: frontend, Blockchain API, Controlador/Updater, sus responsabilidades y conexiones.

Tabla 3 Catálogo de elementos.

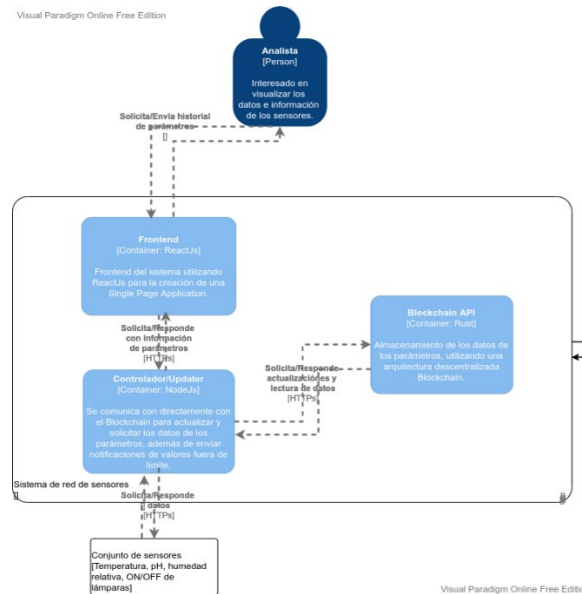
Vista	Nombre	Tipo	Responsabilidad
C4 Contexto	Sistema de red de sensores	Software	Se encarga de gestionar la entrada y salida de los parámetros de pH, temperatura, estado de lámparas y humedad relativa, además de mandar notificaciones de valores fuera de límites.
C4 Contenedores	Frontend	Software	Se encarga de mostrar al analista el historial de los parámetros y hacer peticiones al Blockchain API para poder filtrar y recibir dichos parámetros.
C4 Contenedores	Blockchain API	Software	Se encarga de almacenar el historial y estado actual de los parámetros en una cadena de bloques con el protocolo de NEAR y con contratos escritos en Rust.
C4 Contenedores	Controlador/Updater	Software	Intermediario entre la Blockchain API, los sensores y el frontend del sistema.
C4 Contenedores	Conjunto de sensores	Hardware	Sensores encargados de monitorear el estado del ambiente de las plantas.

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Diagrama C4 del contexto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Diagrama C4 de contenedores.

Implementación del Contenedor Blockchain API

En el diseño de Blockchain API, para el almacenamiento de los datos de los parámetros, se utilizó el protocolo de NEAR con el lenguaje Rust. Con el protocolo de NEAR, y como en muchos de los protocolos de nueva generación de Blockchain, se utiliza un contrato inteligente para definir las operaciones de almacenamiento y transacciones que se ejecutarán.

En este caso, el contrato inteligente está definido por el archivo de lib.rs de la carpeta de src. Dentro del contrato inteligente, se tienen definidas una serie de estructuras que ayudarán al almacenamiento, donde se define la estructura de Rack, la cual contendrá un conjunto de sensores que pueden ser de diferente tipo; también se define la estructura de Sensor que puede estar asociado solo a un Rack y tiene un tipo en específico. También se creó la estructura de Estado que guarda un valor para un sensor en específico y la estructura de ActualizacionEstado, que es la unidad del historial de registro de todos los estados; el cual contiene la hora y fecha en la que se creó la actualización, el estado y si existió alguna incidencia durante la actualización. Finalmente, como punto de entrada se tiene la estructura de SistemaRedSensores, que tiene definidos el conjunto de Racks, sensores, estados y el historial completo de los estados. Estos datos estarán siendo accedidos

al hacer el despliegue del contrato inteligente dentro de la plataforma de NEAR y serán consumidos por el contenedor del Controlador/Updater.

Implementación del Contenedor Controlador/Updater

La responsabilidad del Controlador/Updater es el comunicarse directamente con la Blockchain API para actualizar y solicitar los datos de los parámetros. Para la elección de tecnologías, se utiliza NodeJs y ExpressJs para desplegar servidores y hacer interfaces entre componentes de manera muy sencilla.

La estructura del Controlado/Updater está organizada en dos archivos, el archivo llamado config.js (configuración) se encarga de llamar a la Blockchain API y define cuáles son los métodos de vista y actualización a los que se puede acceder. En el archivo de app.js se hace el despliegue del servidor de ExpressJs y se definen todos los métodos que manejarán los datos obtenidos de la BlockchainAPI. Al desplegar el servidor, el contenedor de frontend podrá acceder a los datos, utilizar filtros y restricciones con ayuda de la lógica del Controlador.

3. Resultados

El frontend es el componente que permite al analista acceder a los datos de los parámetros cuantificados. Al elegir la tecnología de ReactJs (una librería para la creación de aplicaciones de página única), se simplifica el desarrollo, ya que su uso es intuitivo y permite unificar JavaScript como el lenguaje de programación tanto para el frontend, como para el Controlador. ReactJs utiliza un paradigma de componentes independientes que se muestran en la interfaz de usuario.

El archivo principal de App.js define las rutas a las que se pueden acceder a través del navegador, adicionalmente, llama a los demás componentes para renderizarlos, según sea el caso. El directorio /src contiene la carpeta de images, donde se localizan las imágenes utilizadas en la página, y la carpeta de components, que integra las Gráficas, Listas, Navbar, LogIn, LogOut, por mencionar algunos.

La figura 4a muestra la página principal del sistema, la primera vista contiene únicamente el botón para ingresar (log-in). El diseño del frontend se construyó con ayuda de la librería de Bootstrap en el diseño y estilo visual. Dentro del sistema, se

despliega una ventana (Figura 4b) para acceder a la red de sensores, teniendo como condición estar registrados en el sistema de autenticación de Auth0.



a) Página principal.

b) Login.

Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Ventanas de entrada del sistema propuesto.

El primer elemento de la barra de navegación es el de "Sensores", con las opciones para agregar y obtener la lista de sensores (Figura 5). El segundo elemento de la barra es el de "Racks", igualmente con las opciones de nuevo rack y mostrar listado (Figura 6).

Id	Id Rack	Tipo	Descripción
4	1	temperatura	Sensor 23432
3	1	on_off	Lamparas de diferente frecuencia
2	1	humedad_relativa	Modelo 1000
1	1	ph	Modelo S400

Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Listado de sensores.

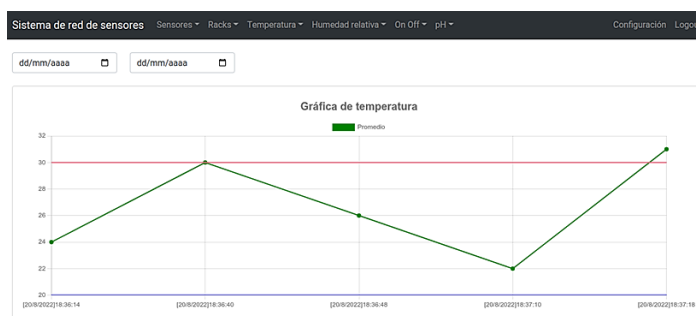
Id	Descripción
6	Rack 6
3	Rack Nuevo
2	Modelo S2000
0	Modelo S300
1	De presión continua

Fuente: elaboración propia.

Figura 6 Listado de Racks.

En los siguientes apartados se puede acceder a gráficas de temperatura (Figura 7, por ejemplo), humedad relativa, estado de lámparas (encendida/apagada) y pH; ya sea del promedio de todos los sensores o de un sensor en específico. Las gráficas de los parámetros (en este caso por ejemplo temperatura) son de conexión de

puntos, que en el eje de las Y contiene la temperatura, mientras que en el eje X se tiene la fecha en la que se registró la actualización de los datos del sensor o el promedio en la fecha; además de dos calendarios para seleccionar un filtro de fechas y horas. En el caso de los demás parámetros, el resultado se muestra en forma similar.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Ejemplo de consulta de parámetros de temperatura de CPPS.

Finalmente, en la parte superior derecha se encuentran dos opciones, la primera para la configuración de obtención de datos (ver figura 8) y para salir (log-out) del sistema. En donde se puede manipular la extracción de los parámetros, ya sea de forma manual o automática cada cierto tiempo.

Manual Automático

Realizar actualización manual. Realizar actualización periódicamente.

Sensor 1 Sensor 1

Minutos

Update Update

La imagen muestra una interfaz de configuración con dos pestañas: 'Manual' y 'Automático'. La pestaña 'Manual' tiene un campo 'Sensor 1' y un botón 'Update'. La pestaña 'Automático' tiene un campo 'Sensor 1', un campo 'Minutos' y un botón 'Update'.

Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Ventana de configuración del sistema.

4. Discusión

Al tener el diseño generado de una manera sistemática y disciplinada, fue posible implementar la solución de una manera sencilla y se documentaron los resultados de la solución y detalles de implementación. Es preciso decir que los objetivos propuestos fueron completados de manera satisfactoria, al construir una solución

para la administración de los datos de los parámetros de los cultivos de laboratorios de iluminación artificial en entornos CPPS a través de su extracción con sensores; además de construir el sistema basado en el diseño propuesto utilizando la metodología ADD.

Se pudo desarrollar a profundidad el funcionamiento de Blockchain en este tipo de productos, las diferentes generaciones y sus aplicaciones actuales. De manera complementaria, se lograron identificar los avances e implementaciones que pueden ser llevadas a cabo en los siguientes años para aprovechar todo el potencial de Blockchain. En este sentido se puede notar que se pueden resolver problemas de diferentes campos de la cadena de suministros, desde la producción de materias primas, el procesamiento, hasta el transporte y la venta de productos.

5. Conclusiones

En este trabajo se propuso una solución para la recopilación y visualización de los parámetros físicos de temperatura, pH, humedad relativa y estado de lámparas (encendida/apagada) en racks de sensores para la monitorización dentro de CPPS. Esta solución está destinada para apoyar en generar un óptimo rendimiento en los diversos cultivos en ambientes de controlados en laboratorios de iluminación artificial. El desarrollo se llevó a cabo con el fin de profundizar en las diferentes alternativas para implementar la agricultura de precisión, además de proponer una solución para administrar los datos de los cultivos de una manera distribuida. Durante el desarrollo, se analizó la historia del proceso de transformación de la agricultura y las diferentes invenciones relacionadas, también se analizaron los mejores diseños de Blockchain e ideas concretas acerca de la tecnología.

A lo largo del proceso se recopilaron una gran cantidad de ideas y conceptos de temas relacionados con la agricultura de precisión, como Internet de las Cosas, los Sistemas Cerrados de Producción de Plantas, las redes de sensores para monitoreo de parámetros, además de explorar soluciones existentes de agricultura de precisión, profundizando temas de descubrimientos y tecnologías.

Como sugerencia a futuro, se propone la implementación de un sistema de red de sensores para agricultura de precisión con diferentes protocolos de Blockchain. Con

esto se puede comparar el rendimiento y el gasto que conlleva cada uno, además el de trabajar con datos. Próximos trabajos podrían enfocarse en el análisis de los datos arrojados por la herramienta para hacer una mejor optimización, no solo en el manejo, sino también para posibles automatizaciones.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Anand, S. J., Priyadarsini, K., Selvi, G. A., Poornima, D., & Vedanarayanan, V. IoT-Based Secure And Energy Efficient Scheme For Precision Agriculture Using Blockchain And Improved Leach Algorithm. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, No. 10, 2466-2475, 2021.
- [2] Bharathidasan, A., & Ponduru, V. A. S. *Sensor Networks: An Overview*. Computer Science, 2002.
- [3] Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., et al. Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 79764-79800, 2020.
- [4] Colomo-Palacios, R., Sánchez-Gordón, M., & Arias-Aranda, D. A critical review on blockchain assessment initiatives: A technology evolution viewpoint. *Software Evolution and Software*, No. 32, 1-11, 2020.
- [5] Díaz, O., & Betancourt, C.R. Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Agroecosistemas*, No. 2, 2018.
- [6] Kiani, F., & Seyyedabbasi, A. Wireless Sensor Network and Internet of Things in Precision Agriculture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, No. 6, 99-103, 2018.
- [7] Kozai, T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proc. Jpn. Acad., Ser.*, No. 10, 447-461, 2013.
- [8] Patil, A.S., Tama, B.A., Park, Y., & Rhee, KH. A Framework for Blockchain Based Secure Smart Green House Farming. In: Park, J., Loia, V., Yi, G., Sung, Y. (eds) *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing. CUTE CSA 2017 2017*. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 474. Springer, Singapore, 2018.

- [9] Robledo-Arratia, L. La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos, CIENCIORAMA, 2014.
- [10] Tapscott, D., & Tapscott, A. La revolución Blockchain. Deusto, Barcelona, 2017.
- [11] Vangala, A., Sutrala, A. K., Das, A. K., Jo, M., et al. Smart Contract-Based Blockchain-Envisioned Authentication Scheme for Smart Farming. IEEE Internet of Things Journal, No. 13, 10792-10806, 2021.
- [12] Wojcik, R., Bachmann, F., Bass, L., Clements, P. C., Merson, P., Nord, R., & Wood, W. G. Attribute-Driven Design (ADD), Version 2.0. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon, 2006.
- [13] Xu, M., Chen X., & Kou G. A systematic review of blockchain. Financial Innovation, No 27, 1-14, 2019.