

Diseño IoT de invernadero para el control de variables mediante técnicas de inteligencia artificial

Lucero Ortiz-Aguilar, Luis Hernández-Silva,
Bernardo Muñoz-López, Alan Cortes-Ruiz

Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón,
México

lucero.oa@purisima.tecnm.mx

Resumen. En la actualidad el tema de optimización en recursos naturales es una preocupación que compete a diferentes áreas de la ciencia. En específico en lo que son los invernaderos o también conocidos como GreenHouse han sido una tendencia en la última década. Tanto tendencias de invernaderos en casa como a gran escala son de interés en la comunidad científica. En este trabajo con el objetivo de adaptar una metodología de control de invernaderos que pueda ser usado en un contexto local y regional se propuso un diseño basado en IoT y Técnicas de IA. Nuestra investigación tuvo como parte de los objetivos la investigación de diferentes diseños de invernaderos, diseños de riego, estudio de diferentes sensores y técnicas de IA. Primero se hizo un modelo a escala y posteriormente se tiene proyectado aplicarlo a una escala en el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón (ITSPR). En este trabajo reportamos la metodología desempeñada y los resultados obtenidos del diseño propuesto.

Palabras clave: IoT, cloud computing, automatización, aplicaciones de la IA, greenhouse.

Greenhouse IoT Design for Variable Control through Artificial Intelligence

Abstract. One of the main topics of optimization in natural resources is related to the responsibility of different areas of science. Specifically, greenhouses have been a trend in the last decade. Both home and large-scale greenhouse trends are of interest in the scientific community. In this work, a proposal of a model for a greenhouse control methodology that can be used in a local and regional context, and a design based on IoT and AI techniques were proposed. Our research had as part of the objectives the investigation of different greenhouse designs, irrigation

designs, and study of different sensors, and AI techniques. First, a scale model was made, and later it is planned to apply it to a scale at the Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón (ITSPR). In this paper we report the methodology used and the results obtained from the proposed design.

Keywords: IoT, cloud computing, automation, artificial intelligence application, greenhouse.

1. Introducción

En la actualidad el tema de optimización en recursos naturales es una preocupación que compete a diferentes áreas de la ciencia. Por lo general, las áreas que se dedican a la agricultura plantean modelos a prueba y error de como aprovechar diferentes recursos como el agua. Una forma de coadyuvar en la medición y solución de este tipo de problemas es generar un simulador de invernadero que permita controlar las variables y además tenga la capacidad de escalamiento para medir un entorno real.

Los ambientes inteligentes, han crecido en popularidad en los últimos años [29,21,24]. De manera particular, la industria de los invernaderos y agricultura (Greenhouse conocido en inglés) ha ganado popularidad debido a su habilidad de producir vegetales frescos de manera muy rápida y a gran escala. De acuerdo con la ONAA (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) , la agricultura es una de las actividades que se busca sea sostenible, sustentable y con mayor productividad [12].

El tener invernaderos implica que diferentes expertos estén involucrados de manera activa para tengan un correcto funcionamiento. Lo anterior debido a que el invernadero necesita de ajustes de parámetros con valores óptimos y esto permita la producción de alimentos. Por lo tanto, un invernadero que sea capaz de simular o controlar las variables puede mejorar la producción de los alimentos y el costo de estos. La primera problemática a la que nos enfrentamos en la optimización de los recursos para los invernaderos es el tener una correcta medición de todos los factores influyentes, posteriormente un monitoreo y finalmente un control.

En este sentido, la parte de monitoreo y control se puede apoyar fuertemente en las nuevas tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA). Es sumamente importante que a partir de una medición de datos se pueda continuar con un tratamiento adecuado de la información y generar una clasificación. En el estado del arte son pocas las bases de datos publicas relacionadas a cultivo de plantas que puedan dar una guía para el tratamiento de estos problemas.

Es por eso por lo que la medición y monitoreo depende de la infraestructura y de las plantas que se tengan en el invernadero, por lo tanto, la solución de estos también. En este caso, dado que se pretende que el diseño del invernadero

pueda contener diferentes especies de plantas, por lo cual es necesario considerar el incluir cada una como una clase diferente. En primera aproximación se necesita un sistema que recolecte los datos y los almacene en una base de datos. Posteriormente, la parte que es de nuestro interés es el generar o identificar estados o patrones dentro de la información obtenida, es decir, hacer un análisis de datos.

Ya que diferentes especies de plantas convivirán dentro de un mismo entorno que se desea este controlado. Una vez caracterizado el entorno e identificando (en clases), podemos hacer en una etapa posterior hace una clasificación y predicción de los ajustes en el invernadero. Es por lo anterior que se vio en la necesidad de aplicar una técnica de agrupamiento no supervisado, para identificar esos grupos y hacer posteriormente los ajustes adecuados para el correcto funcionamiento del ambiente. Como limitante nuestro proyecto es el buscar como generar escenarios en los cuales se optimicen los recursos como el agua.

En este trabajo mostramos un prototipo de un modelo basado en Inteligencia Artificial e Internet de las cosas que permite controlar el sistema de riego para un invernadero. Nuestra propuesta contiene diferentes etapas relacionadas al diseño, monitoreo, agrupación, clasificación y control. En primera instancia y como parte de este trabajo de investigación se creó un modelo a escala que nos permitió probar el sistema con las técnicas de inteligencia artificial.

Posteriormente considerando una infraestructura perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón (ITSPR), se hará una adaptación con la base de datos e interfaces electrónicas. Finalmente, las diferentes variables se guardaron en una base de datos que será el insumo primero de una etapa de clasificación no supervisada con el K-means y posteriormente se podrá predecir los valores adecuados para mantener el invernadero en óptimas condiciones.

2. Estado del arte

En esta sección se da una visión general de estado del arte en las investigaciones relacionadas a los invernaderos, Sistemas de Monitoreo de Riego y aplicaciones de la inteligencia Artificial a Invernaderos.

2.1. Sistemas de monitoreo de riego

Los invernaderos modernos requieren varios puntos de medición para la monitorización de parámetros climáticos internos como lo son temperatura, humedad, luminosidad en diferentes partes del invernadero en general para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema y la automatización de este [3].

Por otra parte para mejorar el rendimiento agrícola con menos recursos y esfuerzos laborales, se han realizado innovaciones sustanciales a lo largo de la historia humana. Sin embargo, la alta tasa de población nunca permitió que la demanda y la oferta coincidieran durante todos estos tiempos.

Según las cifras pronosticadas, en 2050, se espera que la población mundial alcance los 9.800 millones, un aumento de aproximadamente el 25 % con respecto

a la cifra actual [5]. Dentro de las investigaciones y aplicaciones más recientes de sistemas de riego están la realizada por Guijarro-Rodríguez et al. en [15], cuyo trabajo se enfoca en realizar un sistema de riego automatizado con Arduino.

Su problemática inicial es el aprovechar el agua, para mantener una humedad adecuada para un conjunto de plantas. Su diseño es básico, con pocos elementos como: electroválvula, modulo relay, sensores DHT, pantallas, LCD, y sensores de humedad en tierra.

El sistema fue probado por un periodo corto de dos semanas, cuyas lecturas sirvieron para calibrar los sensores y que la automatización fuera lo más adecuada posible. Sin embargo, dicho diseño es para un huerto pequeño doméstico, el cual no es susceptible a ser escalable. En el trabajo realizado por [8] menciona que los invernaderos son estructuras de clima controlado con paredes y techo especialmente diseñadas para el cultivo de plantas fuera de temporada.

La mayoría de los sistemas de invernadero utilizan sistemas manuales para monitorear la temperatura y la humedad, lo que puede causar incomodidad al trabajador, ya que debe visitar el invernadero todos los días y controlarlos manualmente. Los sensores utilizados en el trabajo desarrollado por [8] son el sensor de humedad YL69 y el DHT11 (sensor de temperatura y humedad).

A partir de los datos recibidos, Raspberry PI3 controla automáticamente la humedad y la temperatura de manera eficiente dentro del invernadero al accionar una tubería de irrigación, un ventilador de enfriamiento y ventanas corredizas, respectivamente, de acuerdo con las condiciones requeridas de los cultivos para lograr el máximo crecimiento y rendimiento.

La temperatura y la humedad registradas se almacenan en una base de datos en la nube (ThingSpeak), y los resultados se muestran en una página web, desde donde el usuario puede verlos directamente. En este proyecto guiado por [25], usando un Arduino Mega como controlador para integrar datos del sensor y enviar la información a la plataforma IoT a través del módulo WiFi ESP8266-01 para el monitoreo de un jardín de hongos.

En este sistema, hay tres parámetros que se monitorean a una frecuencia de muestreo de 5 minutos; temperatura ambiente, humedad relativa e intensidad de la luz. Además de usar un navegador web, los datos se pueden duplicar y el usuario puede monitorearlos a través de aplicaciones de terceros en Android.

El objetivo principal del estudio sistemático realizado por [11] es la recopilación de toda la investigación relevante sobre aplicaciones agrícolas, sensores/dispositivos, protocolos de comunicación y tipos de red de IoT. También en dicho trabajo analizan los principales temas y desafíos que se están investigando en el campo de la agricultura.

Además, se ha presentado un marco de agricultura IoT que contextualiza la representación de una amplia gama de soluciones actuales en el campo de la agricultura. Del mismo modo, también se han presentado las políticas de los países para la agricultura basada en IoT. Por último, se han presentado problemas abiertos y desafíos para proporcionar a los investigadores direcciones futuras prometedoras en el dominio de la agricultura de IoT.

En la investigación [26] se muestra el desarrollo de un sistema de monitoreo de invernadero basado en sensores. El sistema está relacionado a un control visual inteligente de invernadero controlado por red inalámbrica que se basa en la Web e Internet, comentan sobre una posibilidad de que el sistema aproxime la tasa de crecimiento de la planta mediante el uso de datos recopilados de sensores que traten las características de los parámetros ambientales.

2.2. IoT aplicado a GreenHouse

De acuerdo con [31] con las tendencias tecnológicas moviéndose hacia el Internet de las cosas (IoT), la mayoría de las aplicaciones de monitoreo continuo están migrando de redes cableadas a comunicaciones inalámbricas de corto alcance y baja potencia. El artículo presenta el diseño y la evaluación del desempeño de un sistema modular y flexible para el monitoreo remoto y continuo de invernaderos. La red de sensores inalámbricos tiene las principales ventajas de estructura simple, alta eficiencia, bajo costo, seguridad y confiabilidad en comparación con la tecnología de monitoreo por cable existente.

El Internet de las Cosas es una tecnología que conecta dispositivos electrónicos, sensores, y dispositivos electrónicos, sensores que pueden ser utilizados en la agricultura para el manejo de cultivos porque es fácil de comercializar y puede diseñarse para ser implementado por técnicos calificados que tienen un conocimiento limitado de la información, tecnología, sensores, dispositivos que pueden detectar lo que ocurre en el invernadero y tomar decisiones con base a los datos obtenidos [20].

La tolerancia a la falla es un aspecto distintivo de la arquitectura propuesta de los sistemas anteriores descritos en la nube utilizando el puerto web para garantizar un sistema, la escuela informática, la industria mecánica y la industria de la agricultura puede exclusivamente como una combinación de plantas de invernadero, sensores para detectar invernadero y los parámetros de microcontrolador como sistemas de recolección de datos, las características de este modelo se pueden realizar mediante el desarrollo de la orientación en la agricultura.

El principal objetivo de investigaciones recientes como la realizada por [5] es desarrollar un invernadero inteligente práctico con sistemas de control inteligente para obtener las circunstancias adecuadas. El sistema propuesto tiene la capacidad de monitorear y controlar el invernadero desde cualquier lugar del mundo. El siglo XXI se convirtió en el inicio del desarrollo de las tecnologías de la información, donde una de las revoluciones fue la Presencia del Internet de las Cosas. Internet de las Cosas es una tecnología que combina dispositivos electrónicos, sensores [4].

Esta tecnología puede adoptarse en la agricultura para el manejo de cultivos como son los invernaderos que utilizan un microcontrolador Arduino o un microordenador Raspberry Pi. Estos dispositivos se utilizan porque su precio es bajo y es fácil de comercializar y puede diseñarse para que los técnicos con conocimientos limitados de tecnología de la información puedan ejecutarlo.

El hardware puede detectar lo que sucede en el invernadero y tomar decisiones basadas en los datos adquiridos, se utilizan a menudo en la agricultura de

precisión sensores de temperatura y humedad, sensores de humedad del suelo y sensores de luz, donde los datos adquiridos por el hardware se transmitirán de forma inalámbrica. En algunos lugares con climas extremos como el Reino de Arabia Saudita (KSA) enfrenta varias limitaciones, que incluyen temperaturas extremas, escasez de agua, costos de desalinización del agua de mar y suelos no fértiles.

En el clima desértico donde el verano dura más de la mitad del año, como en Arabia Saudita. La temperatura media en julio ronda los 43 °C, y la media en enero ronda los 14 C. Es imposible potenciar la producción de verduras y frutas como tomates, pepinos, pimientos dulces y fresas, ya que la temperatura óptima para su crecimiento se encuentra en el rango de 11 C a 28 C.

El sistema propuesto en la investigación realizada por [30] se considera inteligente porque es capaz de monitorizar, de forma autónoma, la temperatura exterior y el consumo de energía en horas punta, para generar con precisión la temperatura de referencia adecuada y garantizar que la temperatura del invernadero alcance esta temperatura de referencia. Además, este sistema puede identificar el ángulo de los rayos del sol para controlar la apertura y el cierre de los toldos, lo que se traduce en reducir los efectos de las altas temperaturas.



Fig. 1. Invernadero.

Todos estos parámetros capturados relacionados con la temperatura y la energía se registran para futuros análisis y predicciones en un modelo de datos de gráficos dinámicos que se utiliza para diseñar el almacenamiento de back-end del sistema.

3. Marco teórico

Algunos conceptos básicos para la comprensión de los Invernaderos con Iot los veremos de forma breve a continuación.

3.1. Invernadero

De acuerdo con [6] establece que: un invernadero está constituido por una estructura metálica o de plástico, la cual se le cubre con materiales translucidos para obtener la suficiente luminosidad en su interior. Un ejemplo de lo anterior se puede observar en la figura 1.

3.2. Riego por aspersión

De acuerdo con [1] existen dos tipos de riego por aspersión:

1. Sistemas estacionarios que permanecen en la misma posición mientras dura el riego. Es decir, se basan en un sistema el cual simula la forma de lluvia intensa en el cultivo y tiene por objetivo que se infiltre el agua en un punto donde debe caer. Este tipo de sistema requiere de una red que distribuya el agua y llegue con suficiente presión a cada aspersor para que realicen su función adecuada.
2. Sistemas mecanizados que se desplazan mientras aplican el agua de riego. El movimiento de estos sistemas es de forma circular y necesitan de una toma de corriente eléctrica para poder funcionar.

Las ventajas y desventajas de los sistemas de riego son:

- Son capaces de cubrir grandes distancias de terreno con bajos costos.
- Se adaptan al tipo de parcela.
- La vida útil es mucho mayor a la de otros sistemas.
- La instalación de este sistema es mucho más compleja.
- Incrementa la aparición de maleza.
- La mano de obra es más elevada.

3.3. Sensores

Una parte primordial de un diseño de IoT es el uso de sensores conectados a una red. De acuerdo con [33], un sensor es un dispositivo que mide un fenómeno dado y da como resultado una señal de salida. Un sensor nos permite adquirir o detectar cantidades físicas que por su naturaleza o tamaño no pueden ser percibidas directamente por el ser humano. Los sensores usados en el sistema de esta propuesta fueron los siguientes:

Sensor de temperatura DHT11. El DHT11 está compuesto por un sensor de humedad y temperatura con una señal digital de salida ofrece una alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo [14]. Se compone de un sensor tipo NTC el cual presenta un rango de temperatura que va desde los (0°C a 50°C).

Para poner a funcionar el sensor DHT11 es necesario realizar las conexiones, debido a que es un sensor sencillo solo cuenta con cuatro pines donde uno es de voltaje V/cc, otro es de señal E/S, un pin N/C que no se conecta y un GND que es la conexión a tierra.

La salida del sensor DHT11 debe ser conectada a las entradas digitales de la placa Arduino y de acuerdo con el código de programación se pueden analizar los datos con los cuales se establecerán acciones como activar un sistema de ventilación para reducir el aumento de temperatura.

Sensor de humedad de suelo YL69. De acuerdo con [2] dicho sensor tiene la capacidad de medir la humedad del suelo. Lo anterior se hace midiendo la tensión entre dos terminales que permiten el paso de corriente de acuerdo con la resistencia del suelo. Cuando la tierra reduce o aumenta la humedad que exista en ella, el sensor comienza a detectar la diferencia de capacitancia por lo que manda cada valor censado como dato a la salida.

Para poder analizar los valores obtenidos por el sensor es necesario conectar la salida del sensor a las entradas analógicas o digitales de la placa Arduino ya que con el código de programación se podrá apreciar las mediciones censadas y poder establecer funciones como la activación del riego a partir de los rangos requeridos por cada cultivo.

3.4. K-Means

Los algoritmos de agrupamiento son herramientas que permiten la extracción y compresión de datos, estimación de densidades de probabilidad, entre otras cosas [17]. El K-Means es un algoritmo de agrupamiento, que ha sido utilizado en diferentes aplicaciones de Machine Learning[10], reconocimiento de patrones, entre otros. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de esta investigación es identificar grupos o patrones de información de los datos recolectados en la base de datos.

Por lo anterior el K-Means es una herramienta que permite generar un determinado número de grupos los cuales tienen características afines. Una de las ventajas de trabajar con K-Means es que los grupos se van ajustando de forma adecuada a través de un proceso iterativo, lo cual lleva a que converja el algoritmo. Otra ventaja es que cada uno de los grupos formados junto con los centroides pueden ser analizados.

Además de que parte de las bondades de este algoritmo es que podemos trabajar con diferentes métricas, como lo son la distancia euclidiana, Mahalanobis, entre otras [23]. Existen otros algoritmos de agrupamiento como MinMax distancia [32], Gaussian mixture [18], Principal component análisis [22], entre otros.

Es importante mencionar que debido a que los datos serán procesados en la nube se optó por elegir el K-Means como algoritmo de agrupamiento, ya que computacionalmente es más sencillo de procesar que los anteriores mencionados. Sin embargo, tiene sus correspondientes limitantes y se espera que se opte en una etapa posterior por un algoritmo más sofisticado.

4. Sistema de control automatizado mediante IoT

De acuerdo con diversas investigaciones presentadas[19], [28], los factores esenciales en la climatología y la ecología van a definir las características de

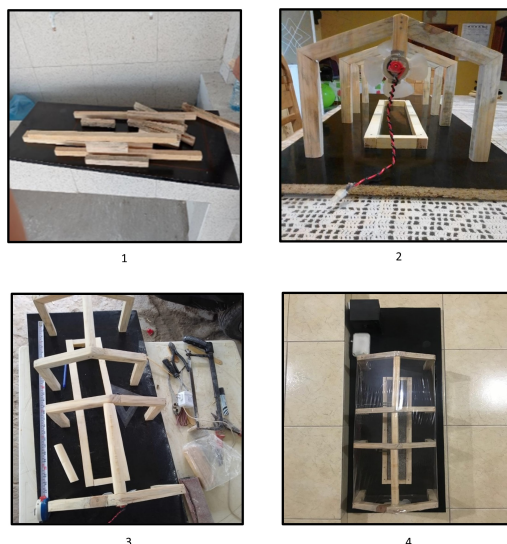


Fig. 2. Armado de invernadero a escala.

ciertas zonas y holgura para los cultivos en el invernadero de forma económica. El primer factor que es primordial para el desarrollo óptimo del invernadero, es la reducción de los cambios de temperatura ambiental.

El nivel térmico no es un problema trivial de resolver, ya que depende de las plantas y el clima del lugar. El crecimiento junto con el metabolismo en las plantas se le atribuyen generalmente a la temperatura a la que se encuentre dentro del invernadero, ya que no hay tejido o proceso fisiológico que no esté influenciado.

De acuerdo con Araque et al. [13] es importante considerar la humedad del sustrato y de la atmosfera para la climatización de un invernadero. Los sistema de riego y la humidificación de la atmosfera se diseñan ad-hoc sobre los requerimientos de las especies cultivadas, así como también sobre las condiciones del clima del invernadero.

De acuerdo con [9] la ventilación natural es el proceso en donde se produce el intercambio entre el aire interior de una estructura y el aire exterior. Lo anterior debido a las diferencias de presión que determinan que el aire entre o salga y eso se provoca mediante dos fuerzas motoras que son la fuerza de gravedad y el efecto del viento exterior.

4.1. Diseño metodológico

Existen diferentes modelos en el estado del arte que han reportado resultados favorables para el cultivo de plantas [34][29]. En nuestra propuesta consta de dos componentes importantes hoy en día en la industria 4.0 que son el internet de las

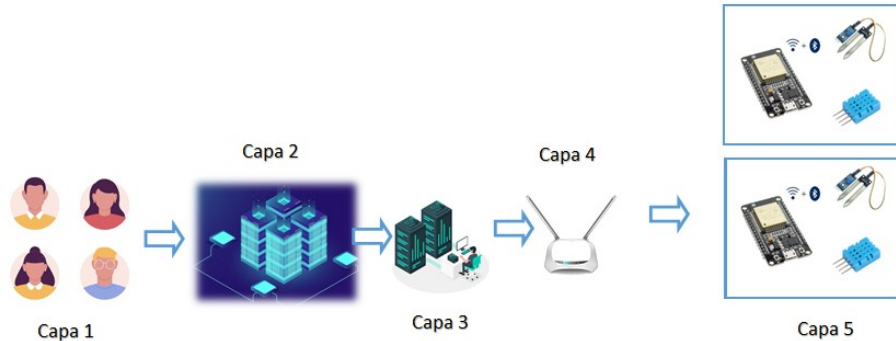


Fig. 3. Modelo del Invernadero de IoT.

cosas (IoT) y las técnicas de aprendizaje. De forma general nuestra metodología de diseño del sistema inteligente es el siguiente:

1. **Requerimientos.** En esta etapa se realizó el diseño de un prototipo a escala para probar el modelo de IoT y poder determinar que las variables de temperatura y humedad fueran controlados de forma adecuada.
2. **Diseño.** El diseño de nuestro sistema consta de cinco capas o elementos, dicho diseño se muestra en la figura 3 (fuente elaboración propia). La parte de interfaz de usuario es en la cual el usuario puede ver las variables de humedad y temperatura del invernadero a distancia. La segunda es la parte de inteligencia artificial u optimización, la cual se va ajustando a cada uno de los elementos o plantas dentro del invernadero de acuerdo con la información recolectada. La tercera y cuarta parte es el manejo de los dispositivos inalámbricos en el servidor en este caso será el Oracle y el gateway. Finalmente, cada uno de los dispositivos que denominaremos “agentes” controlarán un conjunto de sensores en red.
3. **Implementación.** El armado del prototipo se puede ver en la figura 2, el cual implicó una fase de diseño a escala el cual es aplicable al invernadero en tamaño real.
4. **Verificación.** De acuerdo con la programación y al montaje de los componentes del circuito, se obtuvo como resultado el correcto funcionamiento del sistema dado que los sensores censan de manera correcta las variables (humedad, temperatura) permitiendo que los motores tanto el de la bomba de agua como el del ventilador realicen su función establecida mediante la programación.
5. **Plan de mantenimiento.** Este se realizará de acuerdo a la instalación real.



Fig. 4. Proceso de medición, procesamiento de datos.

5. Resultados

Para este trabajo primero se hizo un diseño de Sistema de riego el cual se desarrollo e implemento en un prototipo. La fase de elaboración del prototipo se hizo a escala como se puede observar en la figura 2. Este prototipo también se considero para ser implementado o colocado en ambientes cerrados, ya que en la actualidad es una tendencia que vemos en diversas investigaciones [27].

Los materiales que conforman el diseño de este invernadero son adaptables a espacios reducidos y con poca ventilación. Posteriormente, en otra etapa de diseño del prototipo se planteó una etapa de conexión a internet, la cual involucraría el monitorear y controlar diferentes variables como lo son la humedad del suelo, ambiente, nivel de CO_2 y temperatura. Para esta fase se utilizo un diseño y uso de los siguientes dispositivos: ESP32, DTH11, MQ135, YL69.

La información es tratada en el ESP32, posteriormente es mandada vía MQTT al servidor de Oracle el cual se encuentra en línea a una base de datos en PostgreSQL. Finalmente, la información que obtenga se caracterizará de acuerdo con periodos estacionales y se generaran al menos 3 clases. El proceso descrito anteriormente se puede observar en la figura 4.

6. Resultados preliminares con K-Means

Las mediciones del invernadero real se realizarán posteriormente a la instalación del invernadero en la escala real. Como parte preliminar se descargo la base de datos ROSES GREENHOUSE CULTIVATION DATABASE [7], para probar tanto el procesamiento de la información como retroalimentación y como la predicción de las condiciones adecuadas de los mismos. La base de datos Roses Greenhouse contiene un total de 4 clases que corresponden a:

- Ambiente sin agua.
- Ambiente correcto.
- Ambiente con mucho calor.
- Ambiente con mucho frio.

Se eligió el número de $K=4$, esto de acuerdo con cada uno de los escenarios planteados en la base de datos, y que son los que se plantean adecuar en nuestra experimentación. Se utilizo el software Weka [16], y se realizaron experimentaciones con 4 clusters lo cual es lo que muestra en la tabla 1.

En esta previa experimentación probamos que el modelo en conjunto con la parte de IoT es compatible y funcional. Estamos en etapa de armado y recolección de datos, por lo cual dicha experimentación esta en proceso.

Tabla 1. Resultados con k-Means.

		Cluster			
		0	1	2	3
		-0.32	-0.09	-0.16	-0.42
HS-Analog	Media	477.1401	369.0086	557.5339	773.6188
	DE	74.7067	195.4082	12.3686	22.7879
Luz	Media	13735.196	12355.2316	4157.4169	6498.48
	DE	14685.3859	16738.1693	2599.781	16288.6699
Temperatura	Media	27.8942	23.8652	21.7575	21.8978
	DE	5.627	1.9749	1.107	3.6495
CO ₂	Media	120.7363	125.2128	163.7696	143.0185
	DE	47.7334	77.6604	9.8825	21.4481
HRAnalog	Media	66.7095	75.3229	88.0223	85.8679
	DE	16.026	3.1848	2.4419	11.4575
		Clase			
1		1.0061	1.0037	1	125.9902
2		1.1489	28.8511	1	1
3		90.7825	1.2175	1	1
4		8.5599	1.1863	50.2537	1
total		101.4975	32.2586	53.2537	128.9902

7. Conclusiones

La integración de diferentes elementos como lo son el IoT, técnicas de Inteligencia Artificial y automatización nos acercan cada vez más a lo que es la Industria 4.0. Por lo tanto, la aplicación de estos elementos a un sector como lo son los invernaderos es de suma importancia, debido a su impacto en el medio ambiente y la economía. En cuanto a la parte de IoT y las técnicas de IA, en este trabajo se decidió optar por un algoritmo no supervisado ya que se requería solo ajustar a cuatro estaciones o tipos de contextos climáticos.

Es importante mencionar que como trabajo futuro se quiere ampliar a su uso o aplicación de otros algoritmos de aprendizaje como lo son redes neuronales o algoritmos de clasificación. Como trabajo futuro, está en ampliar la cantidad de variables a medir. Es importante señalar que estamos en una etapa de proceso de armado y recolección de datos, por lo cual dicha experimentación esta por complementarse.

Referencias

1. Ventajas y desventajas del riego por aspersión. *Investigación Aplicada*, vol. 1, no. 17 (2002)
2. Adla, S., Rai, N. K., Karumanchi, S. H., Tripathi, S., Disse, M., Pande, S.: Laboratory calibration and performance evaluation of low-cost capacitive and very low-cost resistive soil moisture sensors. *Sensors*, vol. 20, no. 2, pp. 363 (2020)
3. Akkaş, M. A., Sokullu, R.: An IoT-based greenhouse monitoring system with micaz motes. *Procedia computer science*, vol. 113, pp. 603–608 (2017)

4. Ardiansah, I., Bafdal, N., Suryadi, E., Bono, A.: Greenhouse monitoring and automation using Arduino: a review on precision farming and internet of things (IoT). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 703–709 (2020)
5. Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., Aggoune, E.-H. M.: Internet-of-things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE access*, vol. 7, pp. 129551–129583 (2019)
6. Barraza Alvarez, F. V.: Importancia de un invernadero. *Temas Agrarios*, vol. 17, no. 2, pp. 18–29 (2012)
7. Champutiz, W., Rosero-Montalvo, P., Fuentes, E., Peluffo, D.: Roses greenhouse cultivation database repository (RosesGreenhDB) (2019)
8. Danita, M., Mathew, B., Shereen, N., Sharon, N., Paul, J. J.: IoT based automated greenhouse monitoring system. In: 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). pp. 1933–1937. IEEE (2018)
9. Díaz-Sarmiento, H. O., Solano-Rojas, O. F.: Diseño y simulación del control climático para un invernadero y base de datos de registro, (2006)
10. El Khediri, S., Fakhret, W., Moulahi, T., Khan, R., Thaljaoui, A., Kachouri, A.: Improved node localization using K-Means clustering for wireless sensor networks. *Computer Science Review*, vol. 37, pp. 100284 (2020)
11. Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., Zikria, Y. B.: Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review. *Electronics*, vol. 9, no. 2, pp. 319 (2020)
12. Food, of the United Nations, A. O.: (2022)
13. Galindo-Araque, D. S., Vargas-Sarmiento, M. C., Corredor-Gómez, J. P.: Caracterización de temperatura y humedad de suelos agrícolas. *Letras ConCiencia Tecnológica*, , no. 16, pp. 24–31 (2017) doi: 10.55411/26652544.129
14. Gay, W.: DHT11 sensor. *Advanced Raspberry Pi*, pp. 399–418 (2018)
15. Guijarro-Rodríguez, A., Cevallos-Torres, L., Preciado-Maila, D., Zambrano-Manzur, B. N.: Sistema de riego automatizado con arduino. *Sistema*, vol. 39, no. 37, pp. 27 (2018)
16. Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I. H.: The WEKA data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, vol. 11, no. 1, pp. 10–18 (2009)
17. Hamerly, G., Elkan, C.: Learning the k in K-Means. *Advances in neural information processing systems*, vol. 16 (2003)
18. He, X., Cai, D., Shao, Y., Bao, H., Han, J.: Laplacian regularized gaussian mixture model for data clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 23, no. 9, pp. 1406–1418 (2010)
19. Hernández-Sánchez, E. A.: Diseño e implementación de un invernadero inteligente a escala con dimensionamiento fotovoltaico para su posible sostenimiento eléctrico. Thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (2021)
20. Ibrahim, H., Mostafa, N., Halawa, H., Elsalamouny, M., Daoud, R., Amer, H., Adel, Y., Shaarawi, A., Khattab, A., ElSayed, H.: A layered iot architecture for greenhouse monitoring and remote control. *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 3, pp. 1–12 (2019)
21. Jamil, F., Ibrahim, M., Ullah, I., Kim, S., Kahng, H. K., Kim, D. H.: Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 192, pp. 106573 (2022)

22. Kurita, T.: Principal component analysis (PCA). *Computer Vision: A Reference Guide*, pp. 1–4 (2019)
23. Likas, A., Vlassis, N., Verbeek, J. J.: The global K-Means clustering algorithm. *Pattern recognition*, vol. 36, no. 2, pp. 451–461 (2003)
24. Maraveas, C., Bartzanas, T.: Application of internet of things (IoT) for optimized greenhouse environments. *AgriEngineering*, vol. 3, no. 4, pp. 954–970 (2021)
25. Mohammed, M., Azmi, A., Zakaria, Z., Tajuddin, M., Isa, Z., Azmi, S.: IoT based monitoring and environment control system for indoor cultivation of oyster mushroom. In: *Journal of Physics: Conference Series*. vol. 1019, pp. 012053 (2018)
26. Nosirov, K., Begmatov, S., Arabboev, M., Kuchkorov, T., Chedjou, J., Kyamakya, K., De Silva, P., Abhiram, K.: The greenhouse control based-vision and sensors. In: *Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics: Proceedings of the 14th International FLINS Conference*. pp. 1514–1523 (2020)
27. Paz, M., Fisher, P. R., Gómez, C.: Minimum light requirements for indoor gardening of lettuce. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10 (2019)
28. Pérez-Monsalve, J.: Un invernadero inteligente para optimizar los cultivos. *Revista Universidad EAFIT*, vol. 54, no. 173, pp. 136–139 (2019)
29. Raj, J. S., Ananthi, J. V.: Automation using IoT in greenhouse environment. *Journal of Information Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 38–47 (2019)
30. Subahi, A. F., Bouazza, K. E.: An intelligent iot-based system design for controlling and monitoring greenhouse temperature. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 125488–125500 (2020)
31. Tafa, Z., Ramadani, F., Cakolli, B.: The design of a ZigBee-based greenhouse monitoring system. In: *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing*. pp. 1–4 (2018)
32. Tzortzis, G., Likas, A.: The minmax k-means clustering algorithm. *Pattern recognition*, vol. 47, no. 7, pp. 2505–2516 (2014)
33. Villalba-Hernández, C. E., Mocencahua-Mora, D., Sánchez-Gaspariano, L. A.: Tinkercad como alternativa para aprender conceptos básicos de electrónica. *RD-ICUAP*, vol. 7, no. 20, pp. 133–139 (2021)
34. Wang, J., Chen, M., Zhou, J., Li, P.: Data communication mechanism for greenhouse environment monitoring and control: An agent-based iot system. *Information Processing in Agriculture*, vol. 7, no. 3, pp. 444–455 (2020)