Diseño de infraestructura tecnológica para monitoreo y control remoto de invernaderos mediante conectividad 3G

Design of technological infrastructure for remote monitoring and Control of greenhouses through 3G connectivity

Cesar Gerardo Parra, Jesús Iván Zazueta Juárez, Jesús Ángel Gonzales Castro, David Enrique Castro Palazuelos, Julio Cesar Picos Ponce, Guillermo Javier Rubio Astorga.

*Tecnológico Nacional de México Campus Culiacán, División de estudios de posgrado e investigación, M18170161@culiacan.tecnm.mx

Resumen

El diseño e implementación de un sistema de monitoreo con conectividad 3G y soporte en la nube para un invernadero es de gran importancia para el cuidado y desarrollo del cultivo. En este trabajo se utiliza un enrutador industrial 3G de la marca Delta Electronics para el envío de datos al servidor DIACloud, se desarrolla una base de datos con la información extraída de la nube, donde se utiliza una infraestructura que permite la supervisión en tiempo real del invernadero. El sistema de monitoreo genera alarmas mediante el envío de mensajes vía SMS y correo electrónico, esto permite una respuesta rápida del sistema en la prevención de daños en el cultivo. Además, se integra una interfaz gráfica que permite al usuario interpretar el comportamiento del sistema.

Palabras clave: Monitoreo, base de datos, Invernadero, enrutador.

Abstract

The design and implementation of a monitoring system with 3G connectivity and cloud support for a greenhouse is of great importance for the care and development of crops. In this work, a 3G industrial router from Delta Electronics is used to send data to the DIACloud server. A database is developed with the information extracted from the cloud, using an infrastructure that enables real-time monitoring of the greenhouse. The monitoring system generates alarms by sending SMS and email messages, allowing the system to respond quickly in preventing crop damage. Additionally, a graphical interface is integrated to help the user interpret the system's behavior.

Keywords: Monitoring, database, greenhouse, router.

Recibido: 04/07/2025; Aceptado 04/08/2025; Publicado 25/08/2025

Introducción

En la agricultura, la productividad y la sostenibilidad son temas de importancia en este sector [1]. En los últimos años el estado de Sinaloa se establece como uno de los principales productores en el sector agrícola, exactamente el 5° lugar nacional, así con un porcentaje del 94% por subsector en el total de alimentos producidos por entidad de la evidencia recopilada del año 2017, como se muestra en la Figura 1 [2].

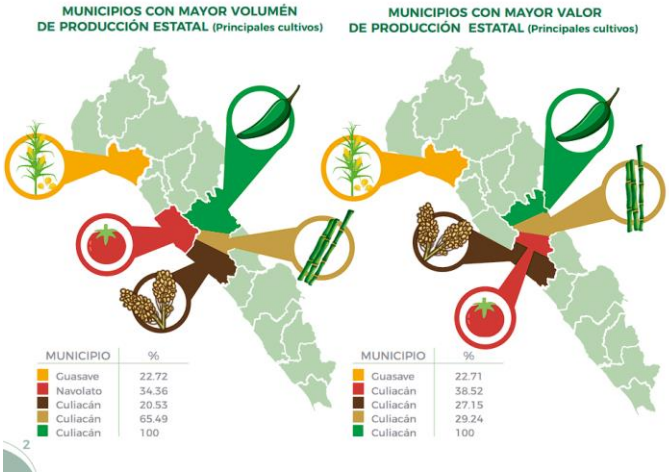


Figura 1. *Evidencia del año 2017 Sinaloa se ubicaba en 5° lugar nacional [2].*

Sinaloa cuenta con más de 778 mil hectáreas para uso agrícola y se destina un 94 % del agua dulce del estado, esto se observa en la Figura 2 [3]. Por ello, el monitoreo es una herramienta para garantizar un crecimiento eficiente del cultivo y tener un cuidado del recurso hídrico [4]. Estos sistemas se encargan de supervisar las cosechas y cultivos, y miden variables físicas para prevenir el brote de plagas y enfermedades [5].

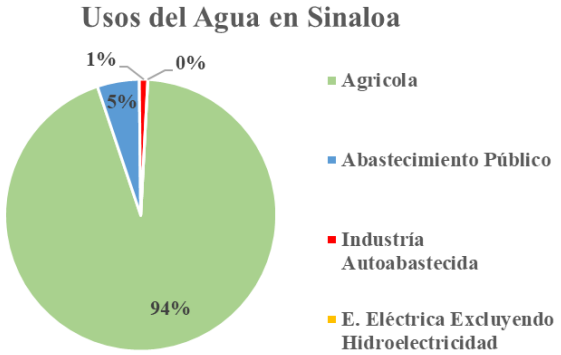


Figura 2. *CONAGUA, estadísticas del agua en Sinaloa 2019 [3].*

Con el avance de la tecnología, se implementan sistemas de monitoreo que permiten analizar el estado de los cultivos y el invernadero con facilidad [6]. Estos sistemas se pueden conectar con dispositivos

industriales, como lo son los Controladores Lógicos Programables (PLC) y pantallas HMI (Human Machine Interface) [7].

En este proyecto se implementa un sistema de monitoreo remoto mediante un PLC y un enrutador industrial 3G modelo DX-2100RW WW de la marca "*Delta Electronics*", en un invernadero de tipo micro túnel. El sistema registra y almacena los parámetros de temperatura, humedad ambiente, humedad del suelo y consumo hídrico directamente en la nube, además, se almacenan en una base de datos local.

Fundamentación Teórica

Un invernadero es una estructura agrícola diseñada para el cultivo y protección de las plantas. Dependiendo del clima, el cultivo y las necesidades del producto, se puede elegir un tipo de invernadero en específico, donde estos están diseñados con una cubierta de película platicas traslucida que impide el paso de la lluvia y controla mejor las condiciones ambientales [8]. Los invernaderos se pueden tecnificar con sistemas de riego, los cuales están diseñados para suministrar nutrientes y fertilizantes necesarios para brindar un crecimiento del cultivo adecuado [9].

La implementación de sistemas remotos para el monitoreo busca la transmisión e integración de datos a una base para la recopilación y el análisis de éstos [10]. Para recopilar la información, es indispensable una nueva herramienta para la extracción de datos o contenido de una página web [11].

Estos datos se almacenan en un servidor de la nube dedicado y se pueden exportar en formato CSV, JSON y XML, pero se puede manipular grandes conjuntos de datos. Estas herramientas sirven como punto de inflexión para la comparación y análisis de datos e incluso hoy en día tiene gran demanda este tipo de recurso [12]. A continuación, se simplifica el uso de la herramienta *WebScraping* para la extracción de información de la base de datos.

- Especifica una dirección URL de la que se desea obtener la información.
- Se realiza una petición para el direccionamiento de la página, es decir entrar al sitio web.
- Se utilizan palabras claves o expresiones del HTML para la extracción de datos.
- Guarda los datos en cierto formato, ya sea JSON o CSV.

Metodología

Primeramente, se diseña la topología de red del sistema de comunicación, monitoreo y la base de datos. En la Figura 3 se encuentra esta topología, donde un PLC y una HMI se conectan al enrutador mediante un conmutador industrial, a cada uno de estos dispositivos se le asigna una dirección IP. Una vez el enrutador tiene la información, la envía mediante la red celular 3G a un servidor en la nube (DIACloud). Después, se activa una tarea que contiene un código, este se ejecuta con el *software* Visual Studio con el motivo de realizar *WebScraping* y extraer la información necesaria para el procesamiento de la base de datos.

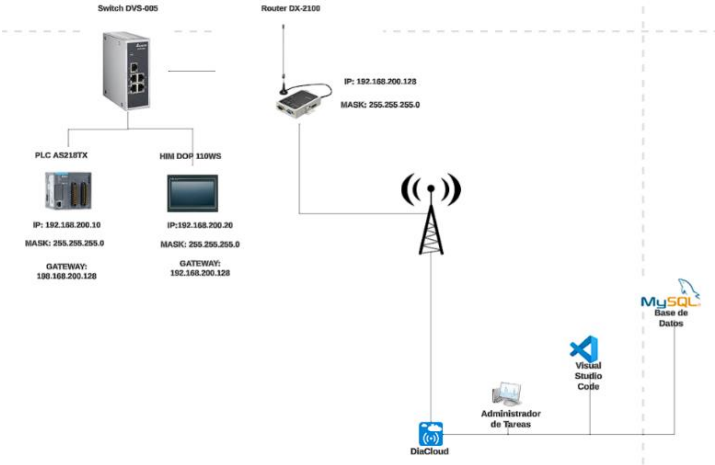


Figura 3. *Topología de Red de Proceso.*

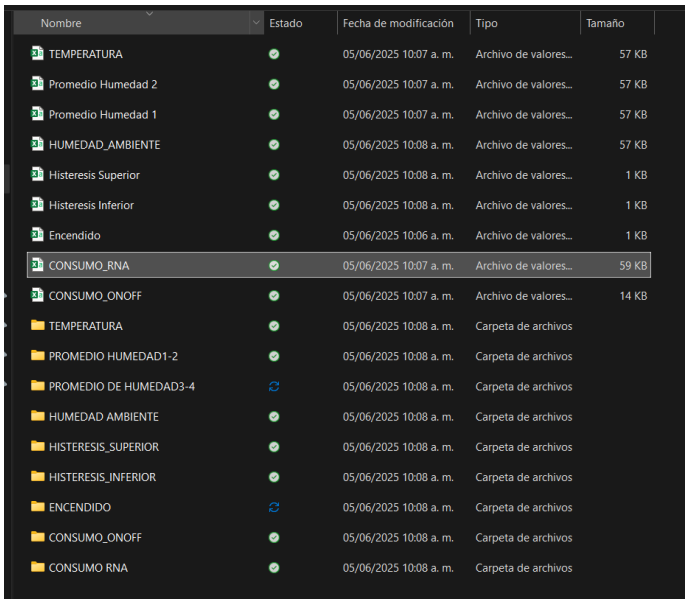
Para crear la base de datos se utiliza la herramienta MySQL, donde se establecen 4 tablas: Registros, Sensores, Estado de Control y Alertas. Se realiza una estructura de conexión entre tablas. Se tiene como tabla principal el apartado Registros, donde en este mismo se enlaza con las otras tablas. Es decir, Alertas revisa los datos de temperatura de la sección de Registros para su posterior inserción en su tabla.

El código del procesamiento de datos realiza un método denominado *Feature Based*, este se divide en módulos o por carpetas con el objetivo de automatizar un proceso. También se encuentra un punto de entrada (*main*) que se encarga de ejecutar cada uno de los de los módulos establecidos. El primero de estos se denomina "Common", éste se subdivide en "Configuración" y "Constantes". En esta sección se configura cada módulo para el almacenamiento de cada una de las variables del invernadero por separado, además, se configura la conexión con la base de datos en MySQL.

Por último, se tiene el módulo "Features", este se divide en 5 apartados: "Autenticación", "Procesamiento", "Descarga", "Navegador Chrome" y "Navegación". En esta sección se ingresa al servidor en la nube (DIACloud) para la descarga de información de la base de datos mediante el navegador Chrome.

Resultados

La implementación del sistema de monitoreo remoto con un enrutador industrial 3G para la descarga de información automática, se lleva a cabo con éxito, lo que permite la generación de una base de datos. Como resultado, se habilita el procesamiento simultaneo de múltiples conjuntos de datos. Esta optimización se refleja en la Figura 4, donde se presenta el procesamiento de información.



Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
TEMPERATURA		05/06/2025 10:07 a. m.	Archivo de valores...	57 KB
Promedio Humedad 2		05/06/2025 10:07 a. m.	Archivo de valores...	57 KB
Promedio Humedad 1		05/06/2025 10:07 a. m.	Archivo de valores...	57 KB
HUMEDAD_AMBIENTE		05/06/2025 10:08 a. m.	Archivo de valores...	57 KB
Histeresis Superior		05/06/2025 10:08 a. m.	Archivo de valores...	1 KB
Histeresis Inferior		05/06/2025 10:08 a. m.	Archivo de valores...	1 KB
Encendido		05/06/2025 10:06 a. m.	Archivo de valores...	1 KB
CONSUMO_RNA		05/06/2025 10:07 a. m.	Archivo de valores...	59 KB
CONSUMO_ONOFF		05/06/2025 10:07 a. m.	Archivo de valores...	14 KB
TEMPERATURA		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
PROMEDIO HUMEDAD1-2		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
PROMEDIO DE HUMEDAD3-4		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
HUMEDAD AMBIENTE		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
HISTERESIS_SUPERIOR		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
HISTERESIS_INFERIOR		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
ENCENDIDO		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
CONSUMO_ONOFF		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	
CONSUMO RNA		05/06/2025 10:08 a. m.	Carpeta de archivos	

Figura 4. *Procesamiento de Datos.*

Al finalizar el procesamiento de datos, éstos se almacenan en sus respectivas carpetas para su posterior registro en la base de datos. Este entorno de almacenamiento permite disponer de la información cuando sea requerida. La ejecución de procesos se realiza de forma periódica, con un intervalo de una hora a partir del inicio de sesión del usuario en su equipo de cómputo. Es decir, el programa se ejecuta automáticamente sin necesidad de intervención manual.

En caso de ocurrir una interrupción durante la ejecución del programa, el sistema intenta reiniciar el proceso hasta tres veces. Si persisten las fallas y el sistema no se puede ejecutar o no registra datos de forma correcta, se procede a deshabilitar la tarea general de descarga de información, para evitar errores adicionales.

Por otro lado, para la interpretación y el análisis de datos se requiere una visualización de las variables. Con este propósito, se implementa una interfaz gráfica mediante una computadora que muestra los registros y las alarmas del sistema. Esta funcionalidad ilustra en la Figura 5.

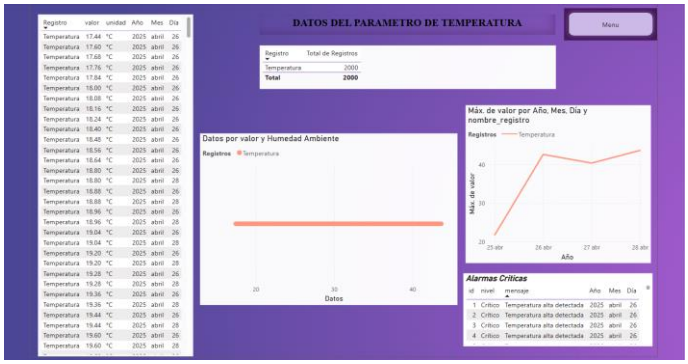


Figura 5. *Interfaz para el análisis de datos.*

Los resultados demuestran que la implementación de un sistema de monitoreo remoto permite la descarga autónoma de datos, representa un avance en el análisis de información. Esto facilita la toma de decisiones para la mejora del sistema y así obtener una recopilación de datos precisa y eficiente.

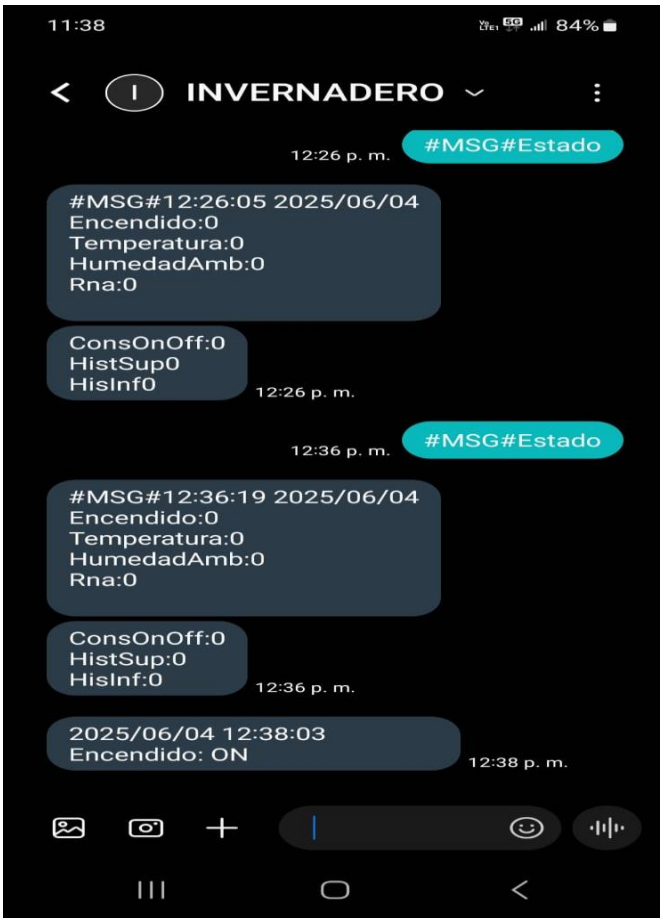


Figura 6. *Método de comunicación mediante SMS.*

Finalmente, la Figura 6 muestra el método de comunicación con el sistema de monitoreo a través de notificaciones vía mensaje SMS. Al

enviar el comando "#MSM#+ESTADO", el sistema responde con un mensaje que incluye los datos registrados hasta ese momento, tales como Encendido (el estado del sistema), Temperatura, HumedadAmb (humedad ambiente), ConsumoRNA, ConsumoOnOff y los valores de Histéresis inferior y superior. Además, si detecta un cambio en el estado de encendido, el sistema envía una notificación adicional para indicar ese evento.

Conclusiones

La implementación de un sistema de comunicación en un invernadero es de importancia para el monitoreo de los parámetros del cultivo. este tipo de tecnología proporciona datos en tiempo real para su posterior análisis. Asimismo, la descarga autónoma de información hacia la base de datos en la nube representa un beneficio, al facilitar la recolección continua de información sin interrumpir otros procesos ni requerir la atención del usuario. Esto no solo ahorra tiempo, también asegura que la información se encuentre disponible y organizada en todo momento para futuras consultas.

El uso de la base de datos para el almacenamiento histórico de información es favorable, en casos donde el servidor local puede alcanzar su límite de capacidad. Contar con un respaldo adecuado permite realizar mejoras en el sistema en el futuro o analizar situaciones pasadas.

Por último, el integrar un sistema de alarmas permite detectar fallas, activaciones inesperadas o eventos importantes de forma inmediata. Esta función mejora la seguridad del invernadero y permite una respuesta rápida ante situaciones críticas. Todo esto contribuye a que la producción agrícola sea eficiente, segura y sostenible.

Referencias

[1] SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), "Cultivando el Futuro Agricultura Sostenible y Sustentable," Oct. 2023. Accessed: Jun. 30, 2025. [Online]. Available: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable

[2]CIEGSIN (Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Sinaloa), "Agricultura Indicadores Por Tema," 2017. Accessed: Jun. 19, 2025. [Online]. Available: https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/eBooks/Temas/AGRICULTURA.pdf

[3] CONAGUA, "Estadísticas del Agua en México 2021," Oct. 2022. [Online]. Available: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM_2021.pdf

[4] B. Ahmad et al., "Evaluation of Smart Greenhouse Monitoring System using Raspberry-Pi Microcontroller for the Production of Tomato Crop," Journal of Applied Research in Plant Sciences, vol. 4, no. 01, pp. 452–458, Jan. 2023, doi: 10.38211/joarps.2023.04.01.54.

[5] M. C. Villasana-Montes, E. Hernández-Rojas, R. L. Palomino-Reséndiz, K. F. Maya-Gress, and S. I. Palomino-Reséndiz, "Diseño de sistema de monitoreo para detección temprana de enfermedades y plagas superficiales en plantas mediante visión artificial," Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, vol. 11, no. Especial4, pp. 221–230, Nov. 2023, doi: 10.29057/icbi.v11iespecial4.11369.

[6] S. I. Ossa Duque, "Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos," Revista Vector, vol. 12, pp. 51–60, Jun. 2017, doi: 10.17151/vect.2017.12.6.

[7] J. D. Rodríguez Aragón and N. C. Chacón Medina, "Modelado y control de un sistema de control de temperatura PID para un invernadero de fresaS," Apuntes De Ciencia E Ingeniería, vol. 3, no. 2, Jun. 2025, doi: doi.org/10.37511.

[8] R. Hernández Villaseñor, "Tipos de invernaderos ¿Qué es un invernadero? y usos." Accessed: Jun. 07, 2025. [Online]. Available: https://hydroenv.com.mx/id44/

[9] J. D. Padilla Rochín, "Desarrollo del control de sistema de fertirriego en un invernadero hidropónico para producto primario," TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN, Culiacán, 2023.

[10] S. Berrios Gomez and H. J. Rivera Herrera, "Sistema IoT basado en ESP32 para el control y monitoreo de cultivos en invernadero con enfoque de agricultura 4.0," INGENIERÍA INVESTIGA, vol. 4, Jun. 2022, doi: 10.47796/ing.v4i0.624.

[11] R. Mijangos-Espinosa, A. Martínez-Rebollar, H. Estrada-Esquivel, and Y. Hernández-Pérez, "Use of Web Scraping Techniques for Automatic Capturing of Databases Located in the Web," Research in Computing Science, vol. 151, no. 5, pp. 143–157, 2022.

[12] B. Zhao, "Web Scraping," in Encyclopedia of Big Data, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 1–3. doi: 10.1007/978-3-319-32001-4_483-1.

Semblanza Autores

Cesar Gerardo Parra, Ingeniero en Electrónica (2023) y estudiante de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería del Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán.

Zazueta Juárez Jesús Iván, estudiante de Ingeniería Mecatrónica y Residente en el laboratorio de Mecatrónica y Control de la división de estudios de posgrados e investigación del Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán.

Jesús Ángel González Castro, Ingeniero en Mecatrónica (2022) y Maestro en Ciencias de la Ingeniería (2024) por el TecNM Campus Culiacán. Actualmente, es estudiante de doctorado en el TecMN campus Culiacán.

David Enrique Castro Palazuelos, Ingeniero Electrónico por el Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán (2000). Maestro en Ciencias en Telemática por la Universidad de Colima (2004) y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialización en Telecomunicaciones por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Guadalajara (2015).

Julio Cesar Picos Ponce, Ingeniero en Electrónica por el Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán (2003). Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN, Unidad Guadalajara (2005). Doctor en Ciencias en Sistemas de Información por la Universidad Autónoma de Sinaloa, Campus Culiacán (2017).

Guillermo Javier Rubio Astorga, Ingeniero Eléctrico por el Tecnológico Nacional de México, Campus Culiacán (1998). Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica (2001) y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica (2013) por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Guadalajara.