

MEJORA DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE CULTIVOS APLICANDO TECNOLOGÍAS DE IOT PARA EL MONITOREO REMOTO DE PH EN AGUA DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO

Improvement of quality and yield of crop applying IoT technologies for remote monitoring of pH in nutrient solution water in a hydroponic system

José Alejandro Pablo

Mtro. en Gestión Industrial
alejopablo91@gmail.com

Jaime Eduardo Mercar Chonay

Mtro. en Administración Industrial
jmercarchonay@gmail.com

Recibido: 12 de noviembre de 2022. | Revisado: 20 de abril de 2023. | Aprobado: 20 de junio de 2023.

RESUMEN

La presente investigación busca mejorar la calidad en la producción de cultivos de lechuga hidropónica en un huerto urbano ubicado en la ciudad de Guatemala. El principal objetivo es el diseño e implementación de un sistema tecnológico que permita el monitoreo remoto del nivel de pH en agua de solución de un sistema de cultivo hidropónico NFT, y que en conjunto con las buenas prácticas agrícolas ayude a minimizar las fuentes de contaminación y así garantizar rendimiento, calidad e inocuidad en las cosechas. Como resultado se obtiene un sistema utilizando tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) que permite la mejora significativa en el tono de color verde aceptable de las cosechas con un incremento del 4 %. Se identifican los riesgos de contaminación en cada etapa del proceso productivo y se realizan 28 recomendaciones basadas en las BPA.

ABSTRACT

This research seeks to improve the quality in the production of hydroponic lettuce crops in an urban garden located in Guatemala City. The main objective is the design and implementation of a technological system that allows remote monitoring of pH levels in solution water of a NFT hydroponic cultivation system, and that together with good agricultural practices helps minimize sources of contamination and thus guarantee yield, quality and safety in crops. As a result, a system is obtained using Internet of Things (IoT) technologies that allows a significant improvement in the acceptable green color of the crops with an increase of 4%. Contamination risks are identified at each stage of the production process and 28 recommendations based on GAP are made.

PALABRAS CLAVE

Proceso productivo, buenas prácticas agrícolas, Internet de las cosas, NFT.

KEYWORDS

Productive process, good agricultural practices, Internet of things, NFT.

INTRODUCCIÓN

Se implementa en un huerto hidropónico urbano con capacidad de 200 cultivos, un sistema utilizando tecnologías del IoT que, como lo indican Rose, Eldridge & Chapin (2015), permite aumentar la disponibilidad de información a lo largo de la cadena de valor de la producción.

La medición de forma remota se realiza por medio de un sensor conectado en red que mide y transmite los valores de pH a cada hora de forma diaria para dos períodos de cosecha, obteniendo una tasa de permanencia del 67 % dentro de los niveles recomendados de pH de 5.8 a 6.5 (Andreau, Beltrano y Giménez, 2015). Con estos datos el productor dispone de una referencia general del estado del sistema y su funcionamiento, como indican Baixauli Soria y Aguilar (2002) y esto le permite ser más proactivo y menos reactivo en la toma de decisiones que benefician al correcto desarrollo de los cultivos (Evans, 2011).

Durante las etapas del proceso productivo se identifican los riesgos de contaminación y se proponen recomendaciones de buenas prácticas agrícolas como parte de un sistema de aseguramiento de la calidad que permita garantizar salud e inocuidad en los cultivos cosechados.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Para lograr los objetivos planteados, la investigación se aborda con un alcance descriptivo ya que se recolecta información por medio de la revisión documental de fuentes como bases de datos, listas de trazabilidad, listas de chequeo estandarizado, así como la observación directa y estructurada de todas las etapas del proceso productivo.

El enfoque de la investigación es mixto, ya que se utilizan las fortalezas de la investigación cuantitativa y descriptiva para la recolección, análisis y vinculación de los datos. El diseño es no experimental porque no se tiene control sobre las variables bajo análisis,

únicamente se describen y analizan con base en la observación tal y como se dan en su contexto natural.

Se toman lecturas de los valores de pH una vez por semana de forma manual para las primeras dos cosechas y a cada hora para la medición de forma remota. Luego de recopilar toda la información de cada cosecha, se aplican técnicas estadísticas para determinar si existe mejora significativa en los indicadores de calidad y se proponen acciones y recomendaciones basadas en las BPA para minimizar el impacto que tienen los riesgos de contaminación identificados en cada etapa del proceso productivo.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se implementa un sistema de monitoreo utilizando un sensor de pH con transmisor RS485 cuya sonda de pH se instala en el tanque de solución del sistema hidropónico, el sensor se comunica mediante modbus RTU hacia un registrador de datos con entradas analógicas y módem 4G LTE.

El envío de las lecturas desde el registrador de datos hacia Thingspeak, que es el servidor MQTT y plataforma de visualización de las lecturas de pH en la nube, se realiza por medio del protocolo MQTT a través de la red celular.

El diseño implementado se presenta a continuación en la figura 1:

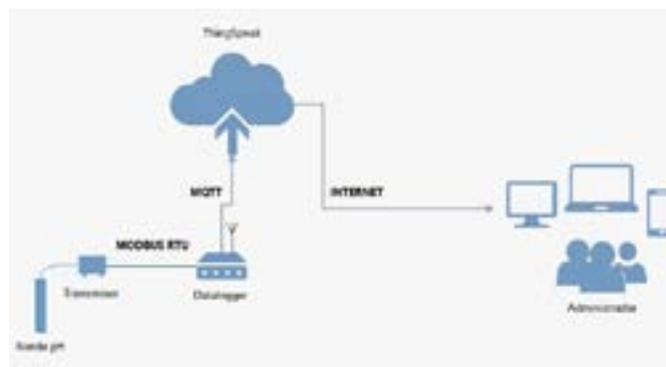


Figura 1. Diagrama del sistema de monitoreo remoto de pH

Fuente: elaboración propia, 2021.

Con relación a las lecturas de los valores de pH que se realizan una vez por semana de forma manual para las primeras dos cosechas y a cada hora para la medición de forma remota, se presenta en la figura 2 la visualización de las lecturas de pH en la plataforma Thingspeak:

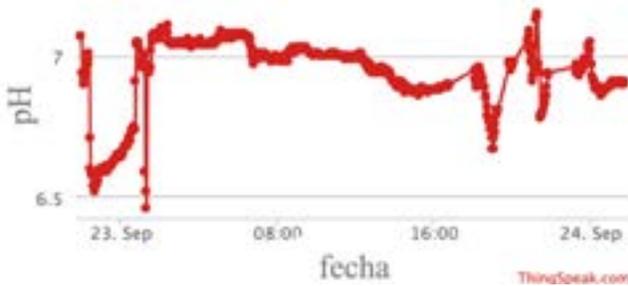


Figura 2. Gráfica de lecturas de pH en Thingspeak
Fuente: elaboración propia, 2021.

El resultado del total de las lecturas tomadas en los periodos de cultivo 3 y 4 que son de 27 y 26 días respectivamente, se presentan en la figura 3:



Figura 3. Lecturas de pH registradas de forma remota durante los periodos 3 y 4.
Fuente: elaboración propia, 2021.

Con la información obtenida de las fichas de trazabilidad para cada cosecha se procede a analizar los indicadores de calidad correspondientes al peso promedio de los cultivos, color verde aceptable de los cultivos cosechados, porcentaje de cultivos con manchas o quemaduras, porcentaje de cultivos con espigado y el rendimiento comercial de la cosecha; siendo la variable de color verde aceptable, la única que tuvo un impacto significativo al pasar de un sistema de manual de toma de valores de pH a un sistema de monitoreo remoto de la variable de pH, ya que la tasa de aceptación se incrementa de un 70 % a un 74 %, respectivamente.

Se identifican las etapas del proceso productivo de los cultivos siendo estas la de trasplante, desarrollo y cosecha. Para cada etapa se identifican los riesgos de contaminación biológica, química y física, su probabilidad de ocurrencia e impacto.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El recurso tecnológico que se utiliza para el desarrollo del sistema de monitoreo remoto de la variable de pH representa el costo más alto del proyecto. Esto se debe a que es equipo con características industriales con protocolos de comunicación de última generación.

El protocolo de comunicación MQTT resulta fácil de implementar y configurar en el registrador de datos una vez se crean los dispositivos en la plataforma Thingspeak y se generan las credenciales para suscripción del dispositivo cliente. A pesar del acceso a una cuenta gratuita para el almacenamiento y visualización de datos, Thingspeak se alcanza la recopilación del 100 % de los registros de la variable de pH durante los dos periodos de cultivo.

Como resultado, se permite al productor visualizar la tendencia de los niveles de pH y realizar correcciones anticipadas, evitando de esta manera que se alejen de forma significativa de los valores ideales.

Las ventajas del monitoreo constante y remoto también se manifiestan tras realizar la prueba de varianzas entre los grupos de medición manual y medición remota, ya que identifica un incremento significativo del 4 % en el segundo grupo para la variable de color verde de los cultivos cosechados.

Finalmente, identificar que los riesgos significativos en el proceso productivo de lechuga hidropónica se concentran en la etapa de manejo y desarrollo del cultivo, tiene un mayor impacto en la calidad e inocuidad de tipo biológico y químico.

CONCLUSIONES

1. La implementación de un sistema de monitoreo remoto para conocer los niveles de pH en agua de solución de un sistema hidropónico NFT, reporta una tasa de permanencia del 67% dentro de los niveles de 5.5 a 6.5 para los períodos de cosecha 3 y 4. La mejora en la calidad y rendimiento de las cosechas se refleja de forma significativa en el tono de color verde aceptable con un incremento del 4%.
2. Los indicadores de calidad contribuyen a estandarizar las cosechas y son el punto de partida para implementaciones que buscan mejorar el rendimiento de las cosechas y permiten realizar ajustes de los límites tras cada cosecha.
3. Entre los tipos de contaminación biológica, química y física que se identifican en las tres etapas de la cadena de producción, los de tipo biológico se encuentran presente en todas las etapas.

Para minimizar estos riesgos de contaminación se establecen 28 recomendaciones basadas en las BPA.
4. Se determina que entre los principales beneficios del monitoreo remoto de la variable de pH en un sistema hidropónico NFT, se encuentra el de poder responder de forma más rápida ante los cambios de niveles de pH y realizar el ajuste correspondiente para mantener la permanencia de los niveles dentro del rango adecuado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la técnica de hidroponía por NFT en huertos urbanos como alternativa de producción de cultivos en pequeños predios,

con la intención de producir alimentos para el autoconsumo y comercialización, para así fomentar nuevos canales de producción y abastecimiento de alimentos.

2. Implementar y seguir los lineamientos que las BPA recomiendan para la producción de cultivos en huertos hidropónicos para asegurar la inocuidad de las cosechas, principalmente los relacionados con riesgos de contaminación biológica y química.
3. Para garantizar la inocuidad en las etapas previas al trasplante se deben adquirir los pilones en un establecimiento que cumpla las normas sanitarias y de buenas prácticas para evitar problemas de patógenos en el sistema. También se recomienda monitorear la temperatura de la solución recirculante en las tuberías y depósito del sistema NFT para evitar hongos y pérdida de cultivos, así como verificar la cantidad de horas y porcentaje de luz que incide sobre los cultivos para evitar pérdidas en los cultivos por elongación por falta de luz. Agregar más sensores para el monitoreo de otras variables del agua de solución como temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica (iones disueltos).

REFERENCIAS

- Andreau, R., Beltrano, J., y Giménez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Baixauli, C. & Aguilar, J. (2002). *Cultivo sin suelo de Hortalizas*. Editorial Generaliat. Valencia, España. 110 p.
- Evans, D., (2011). Internet de las cosas cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*. Recuperado de <https://www.>

cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *La internet de las cosas — una breve reseña*. Internet Society (ISOC). Recuperado de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Ingeniero electrónico, José Alejandro Pablo, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020. Maestro en Gestión Industrial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2022. Afiliación laboral: Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A,

Ingeniero Eléctrico, Jaime Eduardo Mercar Chonay, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. Maestría en Administración Industrial y Empresas de Servicios, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. Afiliación laboral: Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A,