

Prototipo para la obtención automatizada de información y análisis de resultados: caso invernadero CBTA No. 20

Sodel Vázquez Reyes ¹, Perla I. Velasco Elizondo ¹, Alejandra García Hernández ¹, Alejandro Mauricio González ¹, Pedro A. Ávila Arias ², Betsaida I. Velázquez Almaraz ²

¹ Universidad Autónoma de Zacatecas
Ingeniería de Software

Carr. Zacatecas-Guadalajara Km. 6, Ejido "La Escondida", C.P. 98160, Zacatecas, Zac.

² Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 20
Carr. a Torreón Km. 63, Ignacio Allende, CP 98400, Río Grande, Zac.

vazquezs@uaz.edu.mx

Resumen: Se describe un prototipo para la automatización de riego y medición de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo del invernadero del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No.20. Lo anterior para recolectar los datos y graficarlos. Los resultados en la producción del jitomate, en el primer corte fue la básica sin mediciones, el segundo corte con la medición manual aumento un par de kilogramos por metro cuadrado, el tercer corte donde se aplicó el prototipo aumento considerablemente, un 7.8%, de la producción del cultivo a comparación del segundo corte, y se espera que con el prototipo funcionando desde el inicio hasta el fin del ciclo de cultivo se obtenga un aumento al menos del 11.9%.

Palabras clave: Automatización, ingeniería de software, medición.

Abstract: A prototype for the automation of irrigation and measurement of temperature, relative humidity and soil humidity of the greenhouse of the CBTA No.20 is described. The previous to collect the data and graph them. The results in tomato production, in the first cut was the basic one without measurements, the second cut with manual measurement increased a couple of kilograms per square meter, the third cut where the prototype was applied increased considerably, by 7.8%, of production compared to the second cut, and it is expected that with the prototype running from beginning to the end of the growing cycle, an increase of at least 11.9% will be obtained.

Keywords: Automation, software engineering, measurement.

1. Introducción

Los Centros de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA) son instituciones educativas que tienen como misión ser la institución de Educación Media Superior Tecnológica reconocida como promotora del desarrollo educativo, a través de ofrecer un servicio de calidad, innovador e integralmente formativo de mujeres y hombres, con conocimientos, actitudes y habilidades para el desarrollo de las personas y su identidad; para que continúen sus estudios; creando ciudadanía; para tener habilidades que las relacionen pertinentemente con el mundo de trabajo y que desarrollen en los egresados competencias en actividades agrícolas, pecuarias, forestales, pesqueras y acuícolas sustentables de manera que vinculen la educación con el aparato productivo.

El CBTA No. 20 se encuentra localizado en el Municipio de Río Grande, Zacatecas, y cuenta con un invernadero utilizado para cultivar jitomate. El factor principal que afecta la producción de jitomate es la temperatura, porque en Río Grande la temperatura oscila entre -9°C y 39°C en el transcurso del año; y el óptimo térmico para el desarrollo del jitomate durante el día es entre 23-25 °C y de 15-17 °C durante la noche; las temperaturas por debajo

de 8 °C y por encima de 30 °C, alteran el desarrollo del jitomate y suelen provocar una deficiente fructificación. A 0 °C por varios minutos se hiela la planta. Altas temperaturas, por encima de los 30 °C durante largos periodos, agobian las plantas y ocasionan desórdenes fisiológicos en el fruto, los cuales hacen necesario la implementación de técnicas fitosanitarias que generan costo extra y reduce las ganancias de la cosecha [1].

Las variaciones de temperatura afectan directamente al jitomate como lo observamos en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas críticas para el cultivo del jitomate [2]

Se hiela la planta	-2°C
Detiene su desarrollo	10-12°C
Desarrollo normal de la planta	18-25°C
Mayor desarrollo de la planta	21-24°C
Germinación óptima	25-30°C
Temperaturas óptimas	
Desarrollo	Diurna 23-26°C
	Nocturna 13-16°C
Floración	Diurna 23-26°C
	Nocturna 15-18°C
Maduración	15-22°C

La humedad del suelo es otro factor que afecta la baja productividad de la cosecha ya que el exceso o falta de agua hace que se produzcan menos kg/m^2 , el mantener la humedad exacta descartaría este problema y se tendría el uso eficiente del vital líquido. Por lo tanto, el control de las variables de temperatura y humedad del suelo pueden hacer que el cultivo mantenga sus nutrientes en la planta, así como también evitar agregar químicos que dañen la naturalidad del producto.

Con lo antes descrito, el problema primario para la producción de jitomate en el invernadero del CBTA No. 20 es la obtención de datos las 24 horas, los 7 días de la semana. Sin embargo, con el uso de sensores de humedad y temperatura se podría monitorear el invernadero automáticamente a través de un sistema de captura y análisis de datos.

2. Marco teórico

Se describirán dos elementos clave para el desarrollo del proyecto; primeramente, los sensores y posteriormente las etapas fenológicas del jitomate.

2.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas [3].

2.1.1 Módulo HL-69. Es un módulo que utiliza la conductividad de 2 terminales para determinar los parámetros relacionados con el agua. Tiene 2 placas que están separadas y cubiertas de un material conductor. Si hay humedad hacen un puente de una punta a otra el cual es detectado por un circuito que amplifica la señal que la transforma en un valor analógico que va de 0 a 1023. Y también tiene una salida digital, el valor lógico 1 significa que la tierra no está húmeda y si es 0 la tierra está húmeda.

2.1.2 Sensor DHT11. Mide la humedad relativa como la temperatura, se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C . Cada sensor DHT11 está estrictamente calibrado en laboratorio, presentando una extrema precisión en la calibración. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor.

2.2 Etapas fenológicas del jitomate

La fenología del jitomate comprende las etapas que forman su ciclo de vida. El jitomate es un cultivo que presenta tres etapas principales de desarrollo. Los nombres que reciben las tres etapas o fases son: inicial, vegetativa y reproductiva (figura 1). Para cada etapa los requerimientos nutricionales e hídricos son distintos.

La duración aproximada de cada una de las etapas de desarrollo del jitomate es: fase inicial de 1 a 21 días; fase

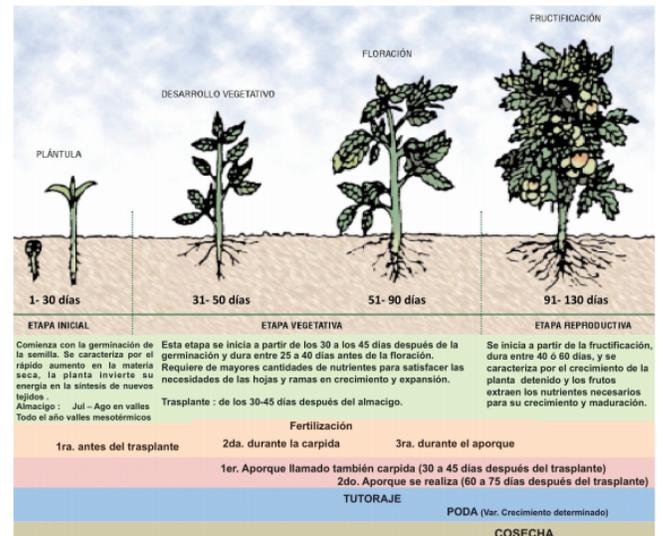


Fig. 1. Etapas fenológicas del jitomate [4].



Fig. 2. Ubicación del invernadero en el CBTA No. 20.

vegetativa de 22 a 80 días, que incluye el desarrollo vegetativo (22 a 49 días) y el desarrollo floral (50 a 80 días); y la fase reproductiva de 81 a 100 días. Se trata de valores meramente indicativos que se pueden ver modificados por las condiciones climáticas. Los días mencionados hacen referencia a los días después del trasplante. La maduración del jitomate también depende del tipo de variedad que se esté cultivando: precoz (65 a 80 días), intermedia (75 a 90 días) y tardía (85 a 100 días).

3. Metodología

En esta sección se explica la realización del proyecto, los materiales y herramientas utilizadas, y los procedimientos elaborados para monitorear el invernadero automáticamente a través de un sistema de captura y análisis de datos.

El estudio y aplicación del prototipo se realizó en el Municipio de Rio Grande, Zacatecas, ya que en éste se localiza el invernadero del CBTA No.20. La figura 2 muestra la ubicación del

invernadero, en las coordenadas 23° 53' 0" N, 103° 1' 0" W, con una altura de 1,869 metros sobre el nivel del mar.

La figura 3 muestra la interacción del usuario con el sistema propuesto para monitorear el invernadero automáticamente y poder lograr la captura y análisis de datos. El sistema adquiere los datos de los sensores (temperatura, humedad relativa y humedad del suelo) y los exporta a Excel; tomando la decisión de iniciar el riego automáticamente de acuerdo con la configuración recibida.

3.1 Programación de arduino

Para programar el sistema de riego del invernadero, se eligió el arduino Uno. En primer lugar, se conectó el sensor DHT11, el cual mide la humedad relativa y la temperatura como se muestra en la figura 4. Se puede ver que el pin de datos (Data) se conecta a la entrada analógica 1, la cual puede ser cualquiera de las 5 posibles. El pin VCC se conecta a la salida de 5V. El pin tierra se conecta a la tierra del arduino.

El sensor HL-69, mide la humedad del suelo y se debe integrar con el programa del sensor DHT11. Se conecta el sensor HL-69 como muestra la figura 5. El pin AV (Analog Values) valores analógicos se conecta a una entrada analógica, en este caso a la entrada 0, de las cinco posibles. El pin VCC se conecta a la entrada de 5V del arduino. El pin de tierra se conecta a GND del arduino.

Los datos que el sensor arroja a la salida van de 0 a 1023, si el valor es el más alto significa que la tierra está seca, entre menor sea el número significa que más humedad tiene la tierra. Se colocó un motor que funge como una bomba de agua, si el sensor HL-69 manda una señal digital con pulso bajo significara que la bomba debe estar apagada y si tiene un pulso alto la bomba se activa. Para ello se programó una rutina.

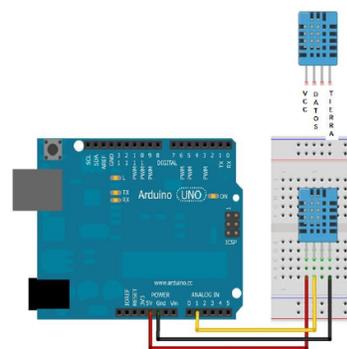


Fig. 4. Conexión del DHT11.

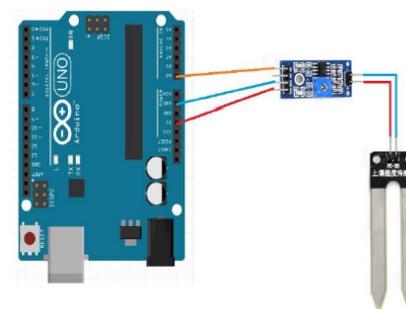


Fig. 5. Conexión del HL-69.

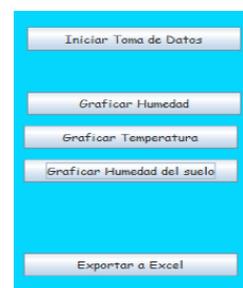


Fig. 6. Captura y análisis de datos.

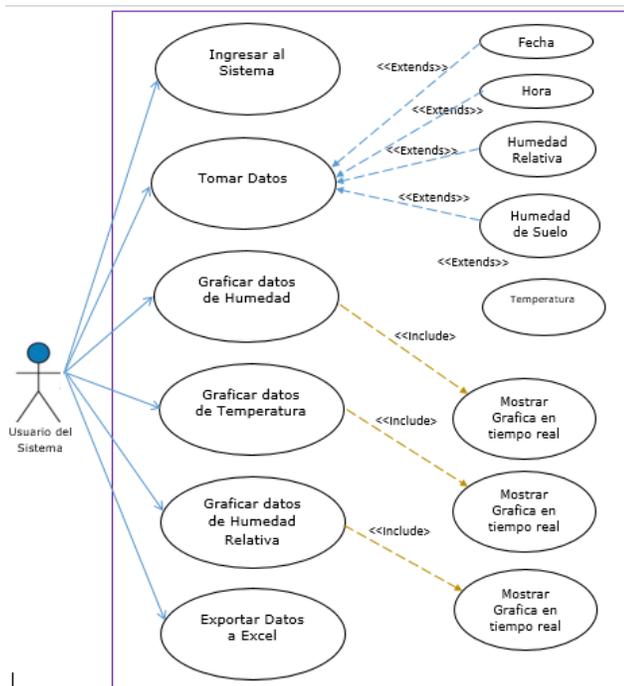


Fig. 3. Diagrama de casos de uso del prototipo.

3.2 Diseño del programa de censado de datos en Java

Se diseñó un programa en Java, para la captura y análisis de datos; la figura 6 muestra las opciones incluidas, los datos se almacenan en tablas y tiene la opción de exportarlos a un archivo de Excel, y visualizar las gráficas de los sensores con respecto al tiempo.

Como se puede observar en la figura 7, se muestra la gráfica de la humedad relativa la cual tiene los valores de la tabla y esta se grafica con respecto al tiempo, denominados por horas, minutos y segundos en tiempo real. En la figura 7 se muestra que se estuvo monitoreando la humedad relativa desde las 8:50 a las 16:00 y seguía monitoreando. Durante el día hubo fluctuaciones entre 34% y 37%.

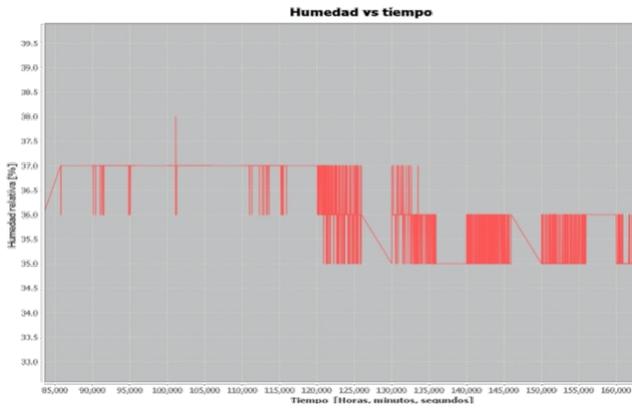


Fig. 7. Gráfica de humedad relativa.

Finalmente, la figura 8 describe los elementos del circuito con los sensores que lo integran para lograr la automatización del invernadero, el cual se encuentra implementado en una protoboard ya que actualmente se encuentra en la etapa de prototipo.

3.3 Pruebas

Para las pruebas se utilizó una maceta con una planta que simulara el jitomate y poder probar el funcionamiento del programa y los sensores; la cual por 5 días se monitoreó la humedad del agua, temperatura y humedad relativa. Todos los datos se exportaron a Excel.

La figura 9 muestra la implementación de la prueba. Cuando el sensor de humedad detecta menos del 59%, el motor se prende y humedece la tierra. Y cuando está más del 60% solo manda los datos a la computadora.

3.4 Propuesta de implementación

En la figura 10 se describe cómo será la distribución de los sensores en el invernadero del CBTA No.20. En el invernadero hay 10 surcos que miden alrededor de 34 metros, los sensores de humedad se colocaran a la mitad de cada surco y a 10 cm de la raíz. El sensor de humedad estará en medio de invernadero. Para la conexión de los cables se enterrarán las mangueras flexibles y adentro estarán los cables. Antes de entrar al invernadero hay un espacio, el cual no se ocupa, simplemente es para no dejar pasar el aire ya que más adelante hay otra puerta, en ese espacio se podrá colocar la computadora y se puede ensamblar el circuito que podrá automatizar el invernadero.

4. Resultados

El jitomate se trata de un cultivo con mucha importancia económica. Para el caso específico de México el jitomate es el cultivo que representa el 70% de la agricultura protegida.

Hablando de la cosecha; en general, cuanto más grandes son los tomates que produce una planta menor es la cantidad de éstos. La figura 11 muestra datos promedio recogidos de experiencias de cultivo [2].

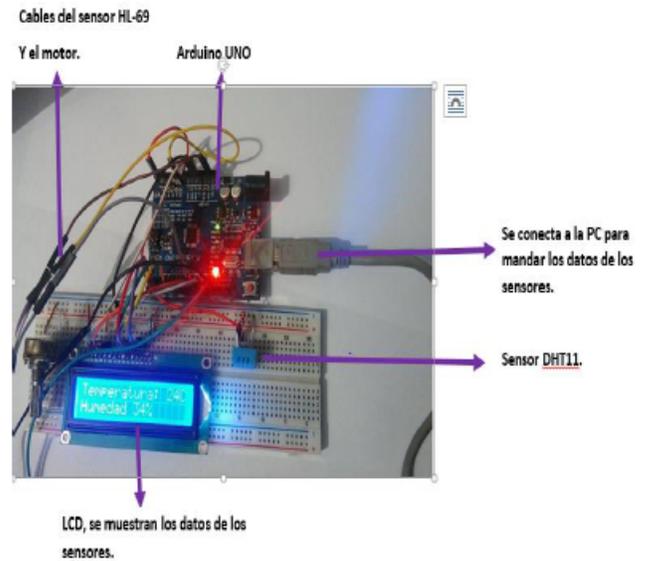


Fig. 8. Prototipo de la automatización del invernadero.



Fig. 9. Prueba del prototipo de la automatización del invernadero.

El jitomate es conocido como el rey de las hortalizas, pero el proceso hasta recolectar este hermoso fruto es largo, aproximadamente de 4 a 5 meses, además de que el aprovechamiento bajo invernadero tiene dos temporadas, de enero a marzo y de mayo a junio los cuales son los meses óptimos para iniciar la siembra, pero esto puede variar dependiendo de la ubicación geográfica y climatológica.

En pruebas estándar de tamaño medio, podemos esperar que cada planta produzca entre 20 y 40 frutos con pesos entre 290 y 270 gramos, dependiendo de la duración de la temporada de cultivo y de los factores que influyen en la producción.

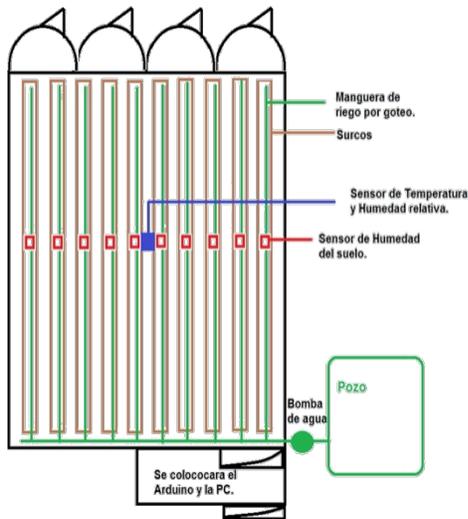


Fig. 10. Propuesta de implementación para la automatización.

Peso del fruto (gramos)	Número de tomates por planta
15	410
34	112
150	58
250	22
270	18
275	39
290	25
300	13
325	29

Fig. 11. Equivalencia del tamaño de los jitomates [2]

Tabla 2. Comparación de resultados

No.	Investigación	Peso	Producto por Planta
1	IC-012-SRD	238 gr	15
2	IC-013-CRDM	277 gr	18
3	IC-014-SE	281 gr	28

4.1 Resultados: prueba básica

Para esta primera etapa de corte se tomó en cuenta el resultado del cultivo IC-012-SRD (invernadero CBTA – Número de prueba 012 – Sin registro de datos) con fecha de fase inicial mayo 4 del 2018 y fecha de fase final agosto 27 del 2018, en un invernadero túnel con un largo de 60 metros y un ancho de 25 metros, del cual se utilizó para sembrar el 88.66% del terreno del invernadero lo que equivale a 1,330 metros cuadrados, en el cual se sembró 6 plantas por metro cuadrado con un total de 7,980 plantas de jitomate de semilla tipo criolla.

Se esperaba obtener un mínimo de 18 y un máximo de 25 jitomates por planta con un peso entre los 270 y 290 gramos. Sin embargo, los resultados obtenidos de la cosecha fueron menos de la esperada, se obtuvo un promedio de 15 jitomates por planta con

un peso de 238 gramos la cual está bajo la media de los registros nacionales de México sobre el cultivo del jitomate.

El resultado negativo de la producción se entiende que se debe a la falta de registro de información, ya que sin esto no se puede hacer un análisis certero de las deficiencias que presenta el suelo para proporcionar los nutrientes adecuados al cultivo, otro factor son las variables de temperatura, humedad y humedad relativa los cuales son indicadores primarios para el tratamiento adecuado de la planta.

4.2 Resultados: prueba con recolección y análisis de datos manualmente

En esta segunda etapa de corte se tomó en cuenta el resultado del cultivo IC-013-CRDM (invernadero CBTA – Número de prueba 013 – Con registro de datos manualmente) con fecha de fase inicial enero 14 del 2019 y fecha de fase final mayo 17 del 2019, en un invernadero túnel con un largo de 60 metros y un ancho de 25 metros, del cual se utilizó para sembrar el 88.66% del terreno del invernadero lo que equivale a 1,330 metros cuadrados, en el cual se sembró 6 plantas por metro cuadrado con un total de 7,980 plantas de jitomate de semilla tipo criolla.

Se esperaba obtener un mínimo de 17 y un máximo de 24 jitomates por planta con un peso entre los 264 y los 277 gramos. Los resultados de la recolección de la cosecha fue la esperada, se obtuvo un promedio de 18 jitomates por planta con un peso de 267 gramos la cual está muy cercana de la media de los registros nacionales de México sobre el cultivo del jitomate.

El resultado ubicado en el rango mínimo de lo esperado se debe al tratamiento de la información registrada manualmente, ya que esto permite el análisis para la toma de decisiones adecuadas que presenta el cultivo.

4.3 Resultados: prueba con recolección y análisis de datos a través del prototipo

En esta tercera etapa de corte se tomó en cuenta el resultado del cultivo IC-014-SE (invernadero CBTA – Número de prueba 014 – Software Embebido) con fecha de fase inicial julio 15 del 2019 y fecha de fase final noviembre 20 del 2019, en un invernadero túnel con un largo de 60 metros y un ancho de 25 metros, del cual se utilizó para sembrar el 88.66% del terreno del invernadero lo que equivale a 1,330 metros cuadrados, en el cual se sembró 6 plantas por metro cuadrado con un total de 7,980 plantas de jitomate de semilla tipo criolla. Se registró información haciendo uso del prototipo de software embebido. Monitoreo 24/7 de temperatura, humedad y humedad relativa.

Se esperaba obtener un mínimo de 18 y un máximo de 25 jitomates por planta con un peso entre los 270 y 290 gramos, el registro de información y análisis de ella nos debería permitir alcanzar o superar la máxima productividad esperada.

Los resultados de la recolección de la cosecha fue la esperada, se obtuvo un promedio de 18 jitomates por planta con un peso de 267 gramos la cual es cercana de la media de los registros nacionales de México sobre el cultivo del jitomate. El mayor número de jitomates por planta fue de 28 piezas, la pieza más grande que se obtuvo fue de 281 gramos y la pieza más pequeña fue de 158 gramos.

El resultado ubicado en lo esperado se debe al tratamiento de la información registrada de forma automatizada, ya que esto permite el análisis para la toma de decisiones adecuadas que presenta el cultivo. El acercamiento al objetivo fue de 68.50% lo que aparentemente es un bajo resultado, pero que en realidad fue positivo para la investigación como se muestra en la Tabla 2. En el tercer corte tuvimos 28 productos por planta, mejora significativa en comparación del primer corte donde solamente logramos 15 productos por planta. También podemos ver que, en el primer corte a comparación del segundo corte, tuvimos una diferencia de 39 gramos más por jitomate en las plantas; del segundo corte en comparación del tercer corte, existe una diferencia mínima por jitomate, únicamente 4 gramos, pero el resultado positivo lo tenemos en la cantidad de jitomates por planta ya que son 10 piezas más, de esta manera observamos la diferencia de gramos que cada planta produjo al final de la cosecha.

5. Conclusiones

En las conclusiones logradas a través de la producción del jitomate dentro del proyecto, se destaca que del primer corte básica sin mediciones, al segundo corte con la medición manual aumento un par de kilogramos por metro cuadrado, y al final en el tercer corte donde se usó el prototipo propuesto, logramos un aumento considerable, un 7.8% la producción del cultivo a comparación del segundo corte; se espera que en una producción con el prototipo funcionando desde el inicio hasta el fin se obtenga un aumento al menos del 11.9%.

Gracias a la implementación del proyecto se concluye que es posible desarrollar un censado de datos e irrigación automatizada con el uso de arduino Uno y con los sensores DTH11 y HL-69,

además de tener un precio accesible a comparación de los instrumentos de medición que se encuentran en el mercado.

6. Reconocimientos

El proyecto de investigación pudo realizarse gracias a la colaboración entre el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 20 de Río Grande y el Programa de Ingeniería de Software de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Para el desarrollo del proyecto, la infraestructura y materiales fueron proporcionados por Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No.20 y el equipo lo proporcionó la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Referencias

- [1] Castellanos J., “*Temperatura: productividad en el cultivo de tomate*”. Disponible en <https://www.hortalizas.com/cultivos/tomates/temperatura-productividad-en-el-cultivo-de-tomate/> [consultado en septiembre 2019].
- [2] Allende, M., Salinas, L., Rodríguez, F., Olivares, N., Riquelme, J., Antúñez, A. y Felmer, S., “*Cultivo del tomate bajo invernadero*”. Ed. INIA, 2017.
- [3] Jecrespom, “*Sensores: aprendiendo Arduino*”. Disponible en <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/sensores/> [consultado en septiembre 2019].
- [4] Cañana B., “*Fases de desarrollo o etapas fenológicas del cultivo del tomate*”, (2018). Disponible en <https://blogagricultura.com/etapas-fenologicas-tomate/> [consultado en septiembre 2019].