

Como agricultor, necesito que el sistema conozca las áreas que están siendo regadas en el momento, con la finalidad de que me muestre en pantalla dicha información.	Información de cultivo
Como agricultor, necesito que el sistema cuente con sensores de humedad, lluvia y temperatura, con la finalidad de conocer los valores de estas variables.	Datos de sensores
Como agricultor, necesito que el sistema deba analizar los valores de humedad y lluvia, con la finalidad de tomar acciones necesarias para el riego.	Análisis de datos
Como agricultor, necesito que el sistema cuente con una fuente de energía sustentable, con la finalidad de reducir el gasto económico y contaminación ambiental.	Fuente de energía
Como agricultor, necesito que el sistema muestre la cantidad de agua que se está administrando al cultivo, con la finalidad de comprobar que la cantidad de agua es correcta.	Cantidad de agua
Como agricultor, necesito que el sistema debe tener en cuenta la etapa de crecimiento del cultivo, con la finalidad de suministrar mayor o menor cantidad de agua según se requiera.	Etapas de crecimiento
Como agricultor, necesito que el circuito del sistema esté conformado por microcontroladores Arduino, con la finalidad de poder disminuir los costos del sistema.	Diseño del circuito
Como agricultor, necesito que el circuito del sistema tenga comunicación mediante Bluetooth o radio, con la finalidad de comunicar toda la información a un solo Arduino Principal.	Comunicación del sistema
Como agricultor, necesito que se puedan anexar más Arduinos al circuito del sistema, con la finalidad de que el sistema sea escalable.	Escalabilidad

Después de elaborar la Tabla V se realizó un cronograma de actividades con el fin de resumir las actividades planificadas con sus respectivas fechas de inicio y fin.

TABLA VI
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Al finalizar cada sprint que se observa en la Tabla VI se realizó el Sprint Review para ver los aspectos a mejorar y el resultado obtenido de la iteración, con el fin de mejorar aquellos puntos débiles que pudieron encontrarse y realizar las respectivas modificaciones en el Product Backlog.

Actividad	Inicio	Fin	Duración (Días)
Sprint 1	5-Jul-21	16-Jul-21	10
Historias de usuario	5-Jul-21	8-Jul-21	4
Hoja de ruta del proyecto	9-Jul-21	12-Jul-21	2
Pila de producto	13-Jul-21	14-Jul-21	2
Lista de tareas de la iteración	15-Jul-21	16-Jul-21	2
Sprint 2	19-Jul-21	30-Jul-21	10
Diseño del circuito	19-Jul-21	21-Jul-21	3
Escalabilidad	22-Jul-21	28-Jul-21	5
Comunicación del sistema	29-Jul-21	30-Jul-21	2
Sprint 3	2-Aug-21	13-Aug-21	10
Interfaz	2-Aug-21	6-Aug-21	5
Suministro de agua	9-Aug-21	11-Aug-21	3
Información del cultivo	12-Aug-21	13-Aug-21	2
Sprint 4	16-Aug-21	27-Aug-21	10
Datos de sensores	16-Aug-21	17-Aug-21	2
Análisis de datos	18-Aug-21	19-Aug-21	2
Etapas de crecimiento	20-Aug-21	27-Aug-21	6
Sprint 5	30-Aug-21	10-Sep-21	17
Fuente de energía	30-Aug-21	31-Aug-21	2
Cantidad de agua	1-Sep-21	3-Sep-21	3
Pruebas de funcionamiento	5-Sep-21	10-Sep-21	5

Después de generar el cronograma, se iniciaron las actividades, empezando por realizar una investigación para determinar el agua requerida para un cultivo de maíz en la finca, para ello se buscó un especialista en el área de agricultura.

Dicho especialista proporcionó un programa diseñado específicamente por la FAO llamado “Cropwat 8.0” para el cálculo de la Evapotranspiración (ET_o), que tal como se muestra en (1), se define como la pérdida de agua del suelo mediante evaporación y la pérdida de agua a través de la transpiración de la planta; y una hoja de cálculo en Excel donde a través del ET_o, el Coeficiente de cultivo (Kc) mensual, y datos climáticos permitió obtener como resultado la demanda de agua para el cultivo de maíz.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

donde:

- ET_o evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
- R_n radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- G flujo del calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T temperatura media del aire a 2m de altura (°C)
- u₂ velocidad del viento a 2m de altura (m s⁻¹)
- e_s presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

TABLA VII
DATOS METEOROLÓGICOS

Mes	Temp Mínima	Temp Máxima	Humedad	Viento	Insolación	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	mm/día
Enero	19.7	29.9	75	5	6.0	5.02
Febrero	20.7	30.2	77	5	5.4	4.75
Marzo	20.4	30.1	78	5	5.4	4.64
Abril	18.6	29.0	79	5	6.3	4.41
Mayo	17.0	27.3	80	5	6.7	3.97
Junio	15.1	25.8	81	5	6.2	3.49
Julio	13.8	24.7	82	5	6.2	3.31
Agosto	13.7	24.8	81	5	6.4	3.61
Sep	14.4	25.7	79	6	6.6	4.16
Oct	15.0	26.3	77	7	6.6	4.55
Nov	15.7	27.1	76	6	6.9	4.79
Dic	17.7	28.7	76	6	6.8	5.00
Media	16.8	27.5	78.0	5	6.3	4.31

Para usar el programa Cropwat se buscaron los datos meteorológicos de la estación meteorológica más cercana que fue Talla (Guadalupe), de la cual se obtuvieron datos de los años 2017-2018 y se registraron, así como se muestra en la “Tabla VII”. Mediante el uso del programa Cropwat y la hoja de cálculo proporcionada por el especialista, se determinó la

cantidad de agua óptima para el riego de los cultivos de maíz durante los meses de enero a marzo, lo que se muestra a continuación en la Tabla VIII.

TABLA VIII
RESULTADOS DE LA HOJA DE CÁLCULO DEL PRIMER TRIMESTRE

PARÁMETRO	UNIDAD	ENE	FEB	MAR
1. Evapotranspiración Potencial	(mm/día)	5.02	4.75	4.64
2. Kc ponderado		0.30	0.80	1.20
3. Evapotranspiración Real o Uso consuntivo (1*2)	(mm/día)	1.51	3.80	5.57
4. Precipitación Efectiva	(mm/día)	0.00	0.00	0.00
5. Déficit de Humedad (3-4)	(mm/día)	1.51	3.80	5.57
6. Eficiencia de riego	(%)	0.90	0.90	0.90
7. Número de horas de jornada diaria de riego	hr	8.00	8.00	8.00
8. N° días del mes	(días)	31.00	28.00	31.00
9. Requerimiento de agua (5/6)	(m3/ha/día)	16.73	42.22	61.87
10.-Área total	has	4.00	4.00	4.00
11.- Total demanda de agua	lts/seg	2.32	5.86	8.59

Posteriormente, se elaboró un diagrama de casos de uso, mostrado en la Fig. 1, donde se puede observar las acciones que realizaría el sistema. Asimismo, se procedió a realizar una especificación del caso de uso y su respectivo diagrama, los cuales permitieron tener una guía para la elaboración del diseño final.

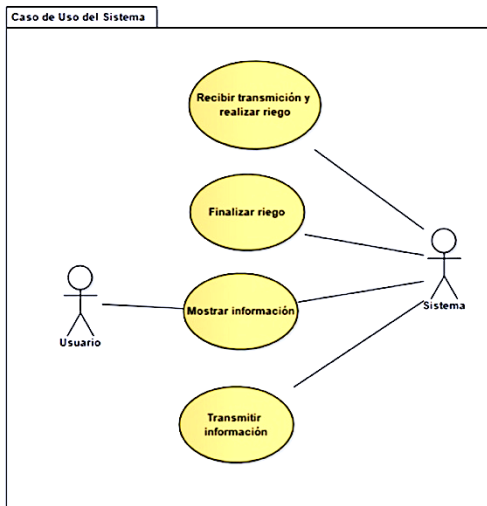


Fig. 1 Caso de uso del sistema

Después, se procedió con el diseño del circuito para el sistema en el programa Proteus, se realizaron algunas búsquedas de librerías necesarias para la realización del diseño. El diseño sufrió cambios menores a lo largo de esta fase y se obtuvo como resultado final lo siguiente:

Módulo secundario

Para cubrir cada hectárea de cultivo de maíz se planteó dividirla en 4 sectores (A, B, C y D), los cuales comprenden ¼ de hectárea, cada uno controlado por un módulo secundario, mostrado en la Fig.2, que se encarga de recolectar los datos de lluvia y humedad de suelo. Una vez recolectado envía una cadena de datos al módulo principal mediante un módulo de bluetooth para solicitar el riego en el sector que le corresponde.

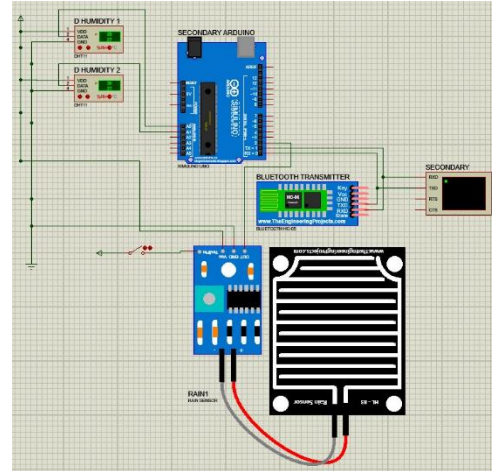


Fig. 2 Módulo secundario

Módulo principal

Se aprecia el diseño realizado para el módulo principal del circuito, mostrado en la Fig.3, el cual se encarga de recibir las cadenas de datos de los otros módulos secundarios repartidos

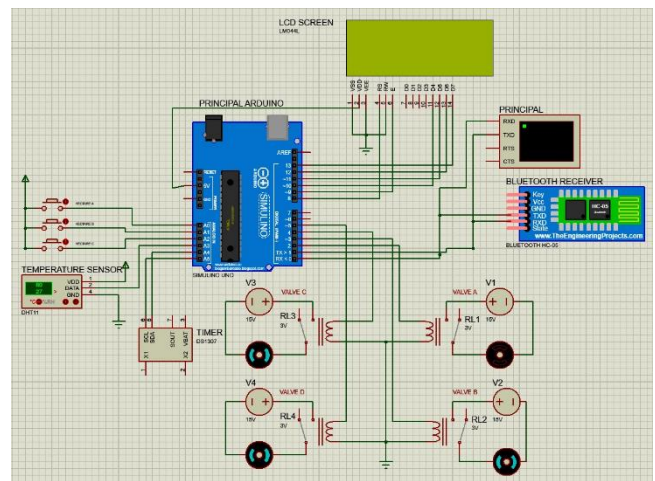


Fig. 3 Módulo principal

en la hectárea de cultivo haciendo uso del módulo de bluetooth. Este Arduino UNO controla la salida del agua a través de válvulas solenoides, además muestra en una pantalla aquellos sectores del terreno que están siendo regados en el momento.

Luego de culminar el diseño y programación del sistema se procedió a realizar una simulación para ver el posible funcionamiento del sistema una vez implementado.

Caso de prueba

TABLA IX
DATOS DEL CASO DE PRUEBA

Arduino secundario			Arduino principal
Sector	Humedad promedio	Lluvia	Cadena anterior registrada
D	67%	Sin lluvia	DNS90

A partir de la Tabla IX se puede determinar que el Arduino principal abrirá la válvula de agua del sector D ya que la humedad es baja y se solicitó riego, mientras que las válvulas de agua de los sectores A, B y C se mantendrán cerradas, hasta recibir una petición de riego.

Una vez elaborada la tabla y el resultado esperado, se procedió a ingresar los datos a los sensores de humedad, lluvia para empezar la simulación, como se muestra en la Fig. 4.

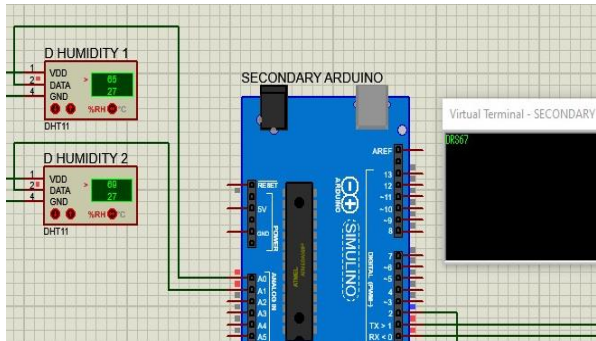


Fig. 4 Datos ingresados y cadena resultante

Una vez iniciada la simulación se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación, en la Fig. 5.

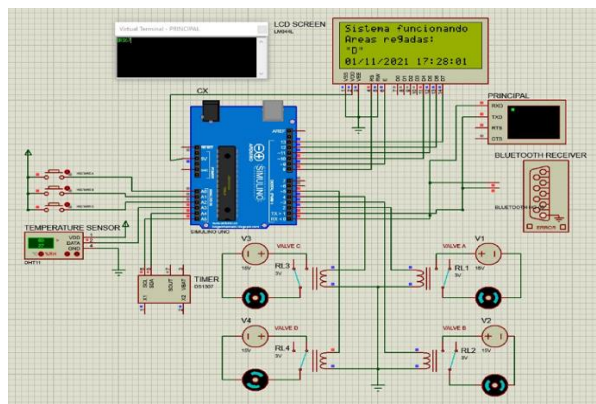


Fig. 5 Resultado de la prueba

Se puede ver en la Fig. 5 que el sistema muestra que se abrió la válvula del sector D, asimismo el sistema muestra en consola la cadena recibida del módulo secundario y en la

pantalla LCD se puede ver la hora actual del sistema y el sector que está siendo irrigado.

Finalmente, para visualizar la eficiencia que tendría el sistema se elaboró una tabla donde se muestra la cantidad de litros que consume el sistema de riego actual que manejan en la finca y el sistema de riego propuesto.

TABLA X
LITROS DE AGUA CONSUMIDOS POR CADA SISTEMA

Litros de agua consumidos			
	Mes 1	Mes 2	Mes 3
Sistema de riego actual	311040 L/sem	414720 L/sem	518400 L/sem
Sistema de riego propuesto	117110 L/sem	295540 L/sem	433090 L/sem

Para calcular el consumo de agua del sistema de riego actual se tomó en cuenta la potencia del motor, el tiempo en funcionamiento del motor, la cantidad de hectáreas regadas y el número de riego semanales. Con base en esto, se hicieron unos cálculos que permitieron obtener la cantidad de litros consumida por semana para este sistema de riego.

Por otro lado, para obtener el consumo del sistema de riego propuesto se tomó en cuenta la cantidad diaria de agua suministrada a una hectárea. Con este valor se obtuvo la cantidad de agua aproximada que gastaría el sistema propuesto en una semana.

A partir de la Tabla X, se elaboró un gráfico (Fig. 6), el cual permite visualizar mejor la diferencia del consumo de agua entre ambos sistemas.

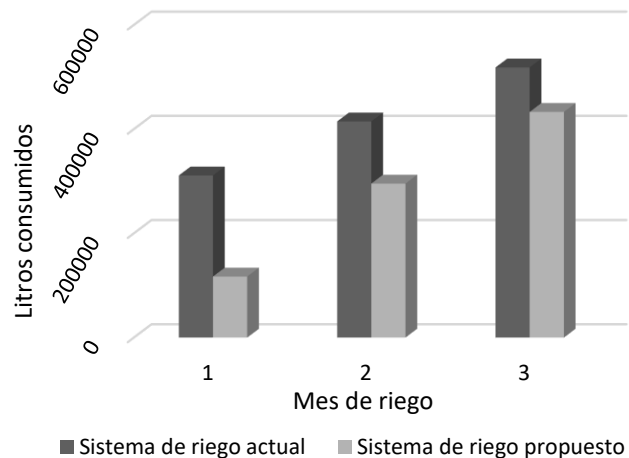


Fig. 6 Comparación de cantidad de agua en litros consumida por cada sistema

Cabe mencionar que para hacer los cálculos de las cantidades de agua consumida por el sistema de riego actual se

tomó en cuenta la información del cronograma de riego que siguen los agricultores y para el sistema de riego propuesto se realizó un cálculo aproximado teniendo en cuenta la lógica programada para el sistema de riego. Para los cálculos, se usó (2).

$$L/ha = \frac{L/seg \text{ del motor} \times N^{\circ} \text{ horas de riego}}{N^{\circ} \text{ de hectáreas}} \quad (2)$$

Para finalizar, se debe mencionar que, de implementarse el sistema a través del diseño presentado, este permitiría reducir la cantidad de agua que se desperdicia gracias al tipo de riego usado y alargando el tiempo de vida de la fuente subterránea de la cual se extrae el agua.

V. DISCUSIÓN

Basado en el análisis hecho en el sistema de riego usado, se determinó que éste consume una cantidad de agua excesiva debido a la falta de control en el método de riego empleado, esto coincide con la investigación de Fuentes [14], donde se aplicaron encuestas a un cierto número de hectáreas que permitieron analizar la productividad y la economía; factores que fueron afectados por el consumo de agua, el cual varió de acuerdo con el sistema de riego implementado. Si bien es cierto que dichos sistemas de riego como el de goteo eran mucho más costosos, éstos daban una mayor ganancia neta al tener un mejor control del agua obteniendo un mejor rendimiento y generando mayores ingresos económicos. Además, se observó que los agricultores entrevistados, dependían de cada uno de sus sistemas de acuerdo con su nivel tecnológico para una mejor gestión del recurso hídrico.

También en la investigación de Sifuentes, et al, [15], donde se analizó un problema ya definido por investigaciones anteriores; se tomaron datos históricos del clima y se procedió a realizar una simulación con el programa IrriModel 2.0 con el fin de dar solución al problema. Por el contrario, para realizar la presente investigación, se partió de un problema aún no definido, para ello se realizaron entrevistas a los trabajadores del lugar, de manera que se identificó el problema y a partir de éste se propuso una posible solución, un sistema de riego automatizado que toma decisiones en cuanto al riego basándose en los datos ambientales que recolecta continuamente.

Resultados similares también fueron observados en la investigación de Salinas [16], en la que se aplicó una combinación de las metodologías SCRUM y XP para realizar la gestión del proyecto, sin embargo, en dicha investigación no fue tomado en cuenta el sub eje temático Sprint Review, perteneciente a la metodología SCRUM; y pese a ello obtuvieron un resultado favorable. De esta forma podemos comprobar que SCRUM se puede adaptar a las necesidades de cada proyecto al obviar algunos de sus sub ejes temáticos.

A pesar de que, para la presente investigación sólo se diseñó una propuesta, a partir de los resultados ya mencionados podemos inferir el impacto de los sistemas de riego automatizados desarrollados con la metodología SCRUM, esto también puede apreciarse en los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas que se mostraron previamente.

VI. CONCLUSIONES

Se puede concluir que fue posible analizar el consumo de agua en cultivos de maíz en una granja agrícola en 2021. A través del análisis se encontraron 2 principales deficiencias que fueron una fuente de agua limitada y el consume excesivo de la fuente; estas corresponden a las dimensiones “Disponibilidad del recurso hídrico” y “Demanda Insatisfecha”. Estos problemas se debían al tipo de riego que manejan, que era de un bajo nivel tecnológico y no alcanzaba los niveles de eficiencias necesarios para evitar el derroche hídrico.

Se determinaron aquellos aspectos teóricos de la metodología SCRUM los cuales se pudieron conceptualizar para la propuesta de un diseño de un sistema de riego automatizado en una finca agrícola en Chepén en el año 2021. Estos aspectos pertenecen a los ejes temáticos “Roles”, “Eventos” y “Artefactos”, los cuales se tomaron en consideración debido a la problemática identificada en la fase de diagnóstico. No obstante, no se consideraron los “Daily Scrums”, perteneciente al eje temático “Eventos”, debido a la dificultad de los usuarios para reunirse, esto debido a las restricciones por estado de emergencia debido a la pandemia ya que los investigadores se encontraban en distintas provincias y contaban con diferentes horarios de disponibilidad.

Se realizó y propuso el diseño de un sistema de riego automatizado para una finca agrícola en Chepén en el año 2021. El desarrollo del proyecto tomó 3 meses y se acopló a los sub ejes temáticos tomados en cuenta de la metodología SCRUM, de forma que los tiempos, los avances y el equipo estuvieran mejor gestionados permitiendo así realizar la propuesta de una manera más ordenada. A partir del caso de prueba y los valores de consumo de agua obtenidos para cada sistema de riego, se comprobó que la propuesta elaborada es factible y una opción viable para gestionar el recurso hídrico en los cultivos de maíz en una finca agrícola.

AGRADECIMIENTO

Primero, a los investigadores les gustaría agradecer al señor Carlos, dueño de la finca quien proveyó todos los datos del lugar, al Agrónomo Walter Ramírez, especialista en riego controlado por su guía en el área, y finalmente a todas las personas que apoyaron de forma indirecta al desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] P. Steduto, et al, “Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO)”, spa no. 66, 2012.
- [2] J. Chura Chuquiya, and J. Tejada Sorraluz, “Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú”, *Idesia (Arica)*, 32(1), 113-118, 2014.
- [3] C. Mendoza Pérez, C. Ramírez Ayala, H. Flores Magdaleno, E. Sifuentes Ibarra, and J. Macías Cervantes, “Uso de programa Irrimodel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”, *Agroproductividad*, 11(1), 49–55, 2018.
- [4] M. A. Nieves Martínez, and H. Flores Gallardo, “Parametrización de un modelo integral para el pronóstico del riego en maíz (*zea mays l.*) cultivado en el distrito de riego 052 “durango””, III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII, 2017.
- [5] MASHAV, “La Implementación del Fertirriego en la Agricultura Intensiva. Israel: Agencia Israelí de Cooperación Internacional para el Desarrollo Ministerio de Relaciones Exteriores”, 2015.
- [6] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “El riego tecnificado en pequeñas y medianas unidades agropecuarias creció 2,2 puntos porcentuales en el año 2016”, 2017. [Online]. Available: <https://www.inei.gob.pe/>. [Accessed: August 3, 2021.]
- [7] Gobierno del Perú. “Documento de Análisis Económico – 2019”, 2019.
- [8] Gobierno Regional de La Libertad. “Mejoramiento del servicio de agua para riego de los canales Chepén alto, Lurífico y Cerrillo en el distrito de Chepén, Chepén, La Libertad”, 2020.
- [9] N. Zapata, et al, “Autoprogramadores para coberturas de riego por aspersión. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón”, 2012.
- [10] G. Rueda, et al, “Redes neuronales aplicadas al control de riego usando instrumentación y análisis de imágenes para un microinvernadero aplicado al cultivo de Albahaca”, *Research in Computing Science*, 147, 93-103, 2018.
- [11] J. Parada, y J. Carrillo, “Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles”, *Renovat: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, (1), 138-160, 2014.
- [12] C. Mendoza, et al, “Uso de programa Irrimodel para la programación de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”, *Agroproductividad*, 11(1), 49–55, 2018.
- [13] T. Turiján, et al, “Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1085-1100, 2012.
- [14] L. Fuentes, “Estrategia productiva y económica de agricultores de pequeña escala de acuerdo al sistema de riego utilizado: El caso de Honduras”, 2011.
- [15] E. Sifuentes, et al, “Riego por goteo en el cultivo de maíz manejado con TIC’S en Sinaloa: sustentabilidad y rentabilidad. CD Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación, Puerto Vallarta, Jalisco, México. NUS044”, pp. 1-9, 2013.
- [16] R. Salinas, “Diseño de un prototipo de sistema automatizado con Arduino para riego en el cultivo de fresas”, 2018.