



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21008

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

IMPLEMENTAR UN SISTEMA SCADA PARA CONTROLAR EL RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE FRESA EN INVERNADERO

Oscar Iván Alfonso-Ruiz¹; Guillermo Jesuita Pérez-Marroquín^{1*}; Raúl Berdeja-Arbeu¹; María Dolores García-García¹; José Eduardo Desiderio-Lorenzo¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. San Juan Acateno, C.P. 73965, Teziutlán, Puebla.

guillermo.perezm@correo.buap.com.mx - 2225985019 *

Resumen

En la actualidad se ha experimentado un empleo progresivo de los denominados sistemas SCADA por su acrónimo en inglés (Supervisory Control And Data Acquisition) en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería, ya sea a nivel industrial como agrícola.

Con el objetivo de implementar un sistema SCADA para controlar el recurso hídrico en la producción de fresa en agricultura protegida, se realizó un experimento para programar el riego mediante el método de evapotranspiración propuesto por Hargreaves-Samani además de sensores de constante dieléctrica (YL69) y sensores de matrices granular (WATERMARK). Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones.

Este sistema se elaboró por aplicaciones softwares desarrolladas, una mediante el lenguaje de programación gráfica LabVIEW® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) las segundas se desarrollaron en Android Studio, y para la adquisición de datos se utilizó el microcontrolador Atmega 328p que posibilita captura de las señales de los sensores y el control de varios actuadores en la instalación de riego, como son las electroválvulas, bomba, contactores, entre otros componentes.

Las aplicaciones SCADA propuestas fueron complementadas con el empleo del software de acceso remoto bidireccional entre dispositivos AnyDesk. El cual otorga el control del servidor donde se está ejecutando el sistema SCADA remotamente a través de un dispositivo cliente, cualquiera con conexión a internet, evitando el trabajo repetitivo y constante, esto permite realizar diversas actividades sin descuidar el cultivo lo que se ve reflejado en ahorro de tiempo y dinero.

Palabras claves: SCADA, Riego, Programación, Sensores.



Introducción

En la actualidad, los sistemas de control, supervisión y adquisición de datos, comúnmente conocidos como SCADA se han empleado en diferentes campos técnicos y científicos. Se entiende por sistema SCADA una aplicación desarrollada en software especialmente para ser ejecutada en equipos con el fin de controlar uno o varios procesos determinados, proporcionando la comunicación bidireccional con los dispositivos de campo y controlando la acción de forma automática desde la pantalla del ordenador. Son varias las ocupaciones que puede realizar un SCADA, destacando las siguientes: monitorizar procesos físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, gestión de la producción, mantenimiento, control de calidad, administración de datos, tratamiento histórico de información mediante su incorporación en bases de datos. (López, 2015).

En lo que corresponde al sector agrícola, los sistemas SCADA han tenido aplicaciones considerables en el control, la monitorización del clima, la fertirrigación y el riego de invernaderos (Toro et al., 2019). Análogamente y digitalmente, para el control del riego a distancia también se desarrollan diversos equipos genéricos (Ruiz y Molina Martínez, 2010; Nestor y Benavides, 2017; Fernández de Córdoba et al., 2018). Además, existen aplicaciones implementadas en el regadío para la supervisión y control del riego en la agricultura de precisión (Araque et al., 2019; Figueres y González, 2019).

Son varios los grupos de investigación que han llevado a cabo trabajos de riego controlado en el cultivo de fresas, observando diferentes respuestas productivas frente al déficit hídrico, en función del momento en que éste se aplica (Muñoz, 2014; Arroyo et al., 2015; Lozano et al., 2016; Romantchik et al., 2018; Salinas, 2018).

De lo anterior se deriva la presente investigación, teniendo como objetivo implementar un sistema SCADA, que pueda operar y modificar el riego en el cultivo de fresa variedad camino real, en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP, donde se estableció una comparación de tres metodologías para el control en tiempo real del momento de riego durante 170 días del ciclo del cultivo, empleando en primera instancia el 100 % de la ETr hídrica del cultivo según la FAO modificada por Hargreaves-Samani, el segundo se aplicó manteniendo los parámetros físicos de nuestro suelo los cuales comprenden capacidad de campo y punto de marchitez permanente, por último, se irrigó de acuerdo a la lectura de humedad disponible medida por los sensores Watermark, bajo condiciones de invernadero teniendo en cuenta los datos edafoclimáticos de la parcela donde se implementó el sistema. El empleo de este tipo de riego permitió optimizar el agua, aplicando estrategias de riego controlado que posibilitan tener el cultivo en condiciones aceptables.



Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la buena respuesta del cultivo de fresa a la estrategia de programación de riego, aun cuando el método FAO fue quien utilizó más agua 503.54 litros por maceta en comparación de los demás, lo cual demuestra que un riego aplicado con los parámetros automáticos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo en combinación con sensores de constante dieléctrica, se genera un ahorro de agua del 18% que se ve reflejado en un gasto de 410.40 litros.

El factor más afectado fue el riego controlado manualmente, el cual obtuvo un costo más alto por manejo, esto debido a la cantidad de operaciones repetitivas que se realizaron.

Materiales y Métodos

Calculo de la Etr

Para obtener las necesidades hídricas, del cultivo utilizamos el método de FAO, que utiliza la siguiente ecuación.

$$ETr = Kc * ET0.....(Ecuación 1)$$

Donde:

ETr: Evapotranspiración real o del cultivo (mm).

Kc: Coeficiente de cultivo.

ETo: Evapotranspiración de referencia.

Para este estudio se han utilizado los coeficientes de cultivo (Kc) (Tabla 1), para el cultivo de fresa propuestos por FAO (Allen et al., 2006).

Tabla 1. Coeficientes de cultivo

Cultivo	Kc Inicial	Kc Medio	Kc Final
Fresa	0.4	0.85	0.75

El cálculo de ETo bajo plástico se ha llevado a cabo mediante la metodología propuesta por (Flores, 2013), en dicho trabajo se evaluaron distintos métodos para calcular ETo en cultivos bajo plástico en clima mediterráneo y se establece que la ecuación de Hargreaves modificada por la transmisividad del plástico, tiene una correlación de 0.97 con el valor medido mediante una estación agroclimática, situada dentro del invernadero. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Eto = 0,0023(tmed + 17,78)Ro * (tmax - tmin)^{0,5}(Ecuación 2)$$



Donde:

Eto = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

tmed = Temperatura media diaria, °C

Ro = Radiación solar extraterrestre, en mm/día

tmax = Temperatura diaria máxima

tmin = Temperatura diaria mínima

Instalación de sensores de humedad terrestre

Se integraron tres sensores YL69 (Figura 4), Este sensor utiliza dos electrodos que pasan corriente a través del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo. la calibración de ello fue con los parámetros de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, esos valores cambian de acuerdo al tipo de sustrato a utilizar, una vez calibrado se configuró la aplicación desarrollada número uno llamada Riego Serial, estableciendo las condiciones mencionadas anteriormente para poder efectuarse el riego.

Dentro del experimento se colocaron tres sensores de la marca Watermark, modelo 200SS, estos sensores tienen un diámetro de 22 mm, una longitud de 83 mm y un peso de 0.067 kg, operan a un rango de medición de 0 a 239 centibares (Tabla 2), los riegos basándonos en los sensores Watermark se realizó en base a las lecturas de humedad disponible en el suelo de acuerdo al fabricante (Irrometer, 2017).

Tabla 2. Rangos de operación Watermark

Rango	Unidad	Indicador
0-10	Centibares	Suelo saturado.
10-30	Centibares	Suelos con suficiente humedad. Excepto los suelos de arena gruesa que empiezan a secarse.
30-60	Centibares	Margen normal para iniciar el riego excepto en los suelos muy arcillosos.
60-80	Centibares	Margen normal para iniciar el riego en los suelos muy arcillosos.
80>	Centibares	El suelo se está secando peligrosamente.

Los riegos aplicados estuvieron comprendidos entre los rangos 10-30 a 60-80 centibares.



Descripción de la programación de riegos

La programación del momento de riego estuvo constituida por tres tratamientos y cada bloque con 3 repeticiones utilizando una maceta como unidad experimental (Figura 1), en donde a cada repetición se agregó un sensor YL69 por maceta para realizar el estudio de la lectura a porcentaje de humedad terrestre que fue de 0 a 100%, los módulos considerados fueron los siguientes (Tabla 3) **Tabla 3.**

Tabla 3. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Bloque	
T1	FAO (Hargreaves and Samani)	+ YL69
T2	Sensor YL69	+ YL69
T3	Sensor Watermark	+ YL69



Figura 1. Distribución de los tratamientos

Desarrollo de aplicaciones

El software Riego Serial (Figura 2), se desarrolló para aplicar riegos autónomos estableciendo los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, obtenidos del análisis de sustrato. Esta aplicación cuenta con alertas gráficas y sonoras que se activan cuándo los rangos humedad se salen de lo establecido.



Figura 2. Aplicación Riego Serial

El programa Timer Serial (Figura 3), aplica los riegos según las necesidades hídricas del cultivo, en este se establecen los periodos de riego diarios o por fecha y hora específica, la cantidad de agua aplicada por el lapso programado, se deriva de lo calculado por los requerimientos de agua del cultivo.



Figura 3. Aplicación Timer Serial



Las aplicaciones smartphone (Figura 4), desarrolladas pueden ser ejecutadas en cualquier equipo celular que corra con el sistema operativo Android, esto ayuda a tener un control de datos de las variables de estudio y manejo agronómico dentro del invernadero; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, estas apps proporcionan información básica para llevar un control óptimo del cultivo de fresa.

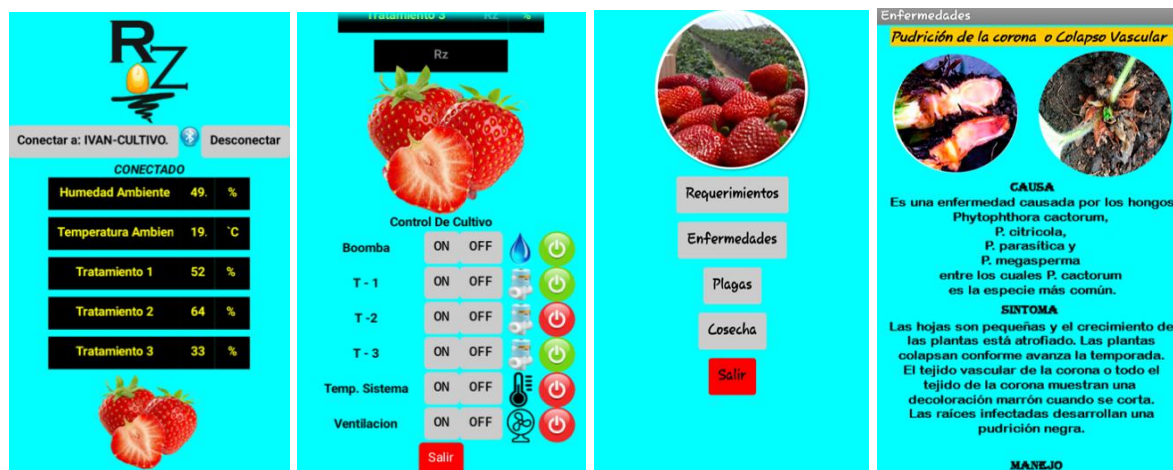


Figura 4. Aplicaciones Smartphone.

Resultados y Discusión

Ejecución de aplicaciones

La implementación del sistema SCADA para controlar el riego se realizó en un invernadero donde se monitoreo los datos edafoclimáticos, y el contenido de humedad terrestre, mostrando un aspecto de humedad diferente de acuerdo a cada tratamiento de estudio (Figura 5).

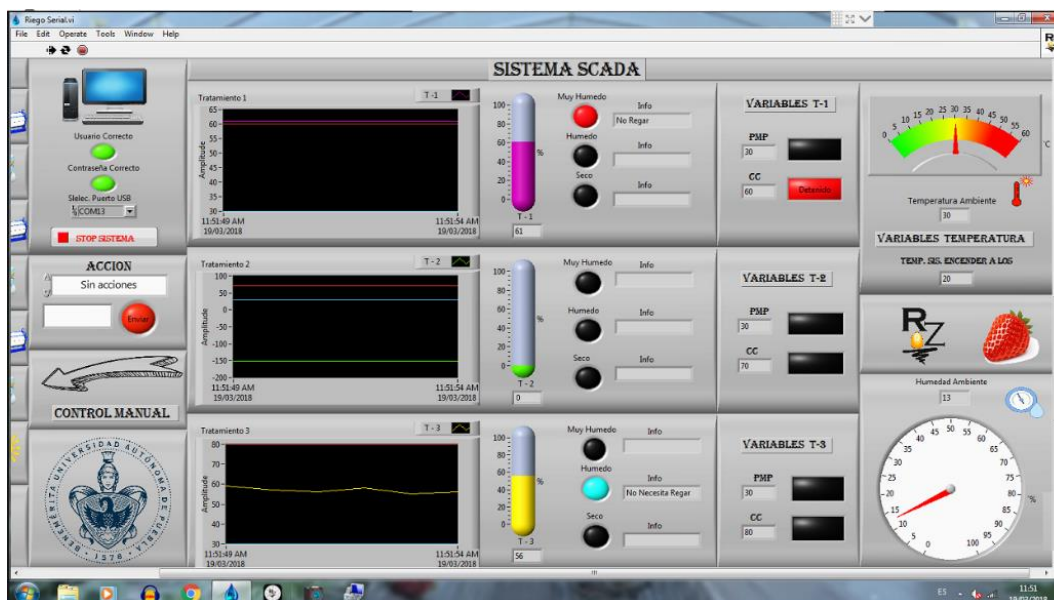


Figura 5. Medición de humedad terrestre

En la aplicación (Figura 6), se programó los minutos necesarios para suministra la cantidad de agua calculada mediante la ecuación de Hargreaves y Samani por día (Tabla 4,5,6).

Tabla 4. mm de agua aplicado por mes

Mes	ETo mm/mes	Limite Kc	Agua a aplicar mm/mes
Ene	3.60	0.40	1.44
Feb	4.03	0.60	2.42
Mar	4.92	0.85	4.18
Abr	6.36	0.85	5.41
May	6.18	0.76	4.70
Jun	5.59	0.75	4.19



Tabla 5. Litros de agua aplicados por día

Mes	Litros de aplicación / Día
Enero	0.12
Febrero	0.19
Marzo	0.33
Abril	0.43
Mayo	0.38
Junio	0.34

Tabla 6. Minutos de aplicación por planta

Mes	Aplicación Minutos / Planta
Enero	7
Febrero	11
Marzo	19
Abril	25
Mayo	22
Junio	19

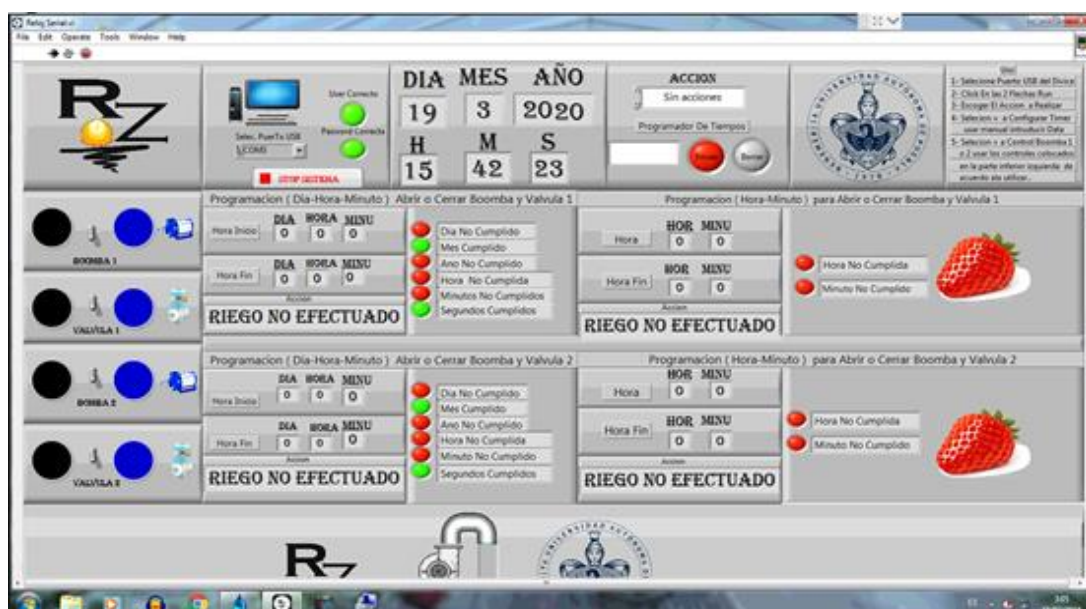


Figura 6. Programación de ETR



Momento de riego

En la Figura 7, se observa el comportamiento de humedad del suelo en la maceta en los diferentes bloques de estudio, los datos obtenidos con el sensor Watermark se encuentran arriba del rango de capacidad de campo y por arriba del umbral de riego, por lo tanto, los riegos se realizaron con 4 días de anticipación, en comparación con los sensores YL69 los cuales se efectuaron hasta que los rangos establecidos de humedad se cumplían.

Mientras que los valores obtenidos con el tratamiento por el método de la FAO muestran que la humedad se incrementa cómo evoluciona su fenología, manteniéndose sobre el margen de capacidad de campo en la etapa de desarrollo y se estabiliza en la fase de final.

Estos resultados concuerdan con González et al. (2014) quienes encontraron que la demanda de agua de los cultivos varía en dependencia de la longitud del ciclo, el tipo de cultivo y la época de siembra.

Lozano y Gavilán (2016), reportan que el riego aplicado está condicionado en buena parte por la duración de la campaña de riego ya que la evapotranspiración máxima incrementa de acuerdo a las condiciones climáticas.

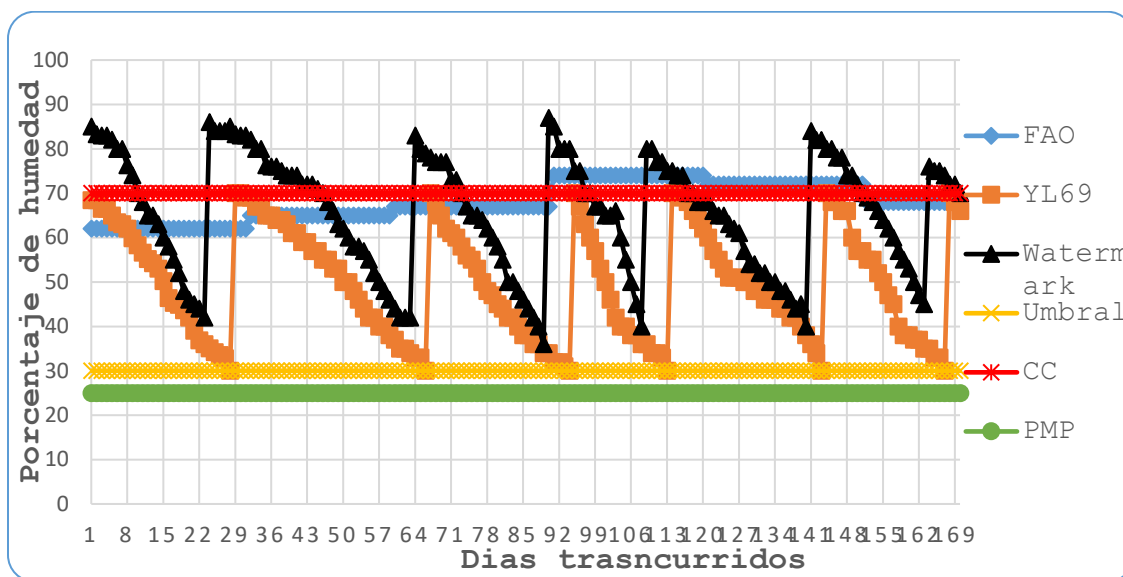


Figura 7. Humedad disponible en los tratamientos

Agua utilizada

De acuerdo a los reportes obtenidos en los softwares de estudio (Figura 8) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el método FAO utilizó 18 % más de agua con 503.54 litros de agua en comparación de los demás, lo cual demuestra que un riego aplicado con los parámetros automáticos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente del suelo en utilizando sensores de constante dieléctrica, lo cual se utilizó 410.40 litros.

Estos datos concuerdan con Muñoz (2014) y Aque Fundation (2018) en donde reportan que un sistema de control de agua dosificado automáticamente según las necesidades del cultivo, ha supuesto un ahorro del 90 a 95 % aproximadamente en el tiempo de desarrollo.

Arroyo et al. (2015) y Figueres y González, (2019) consiguieron un ahorro medio de agua del 43% respecto al testigo, donde muestra que gracias a la implantación de un riego de



precisión se ha reducido el consumo de agua y este recurso se utilizó de forma satisfactoria.

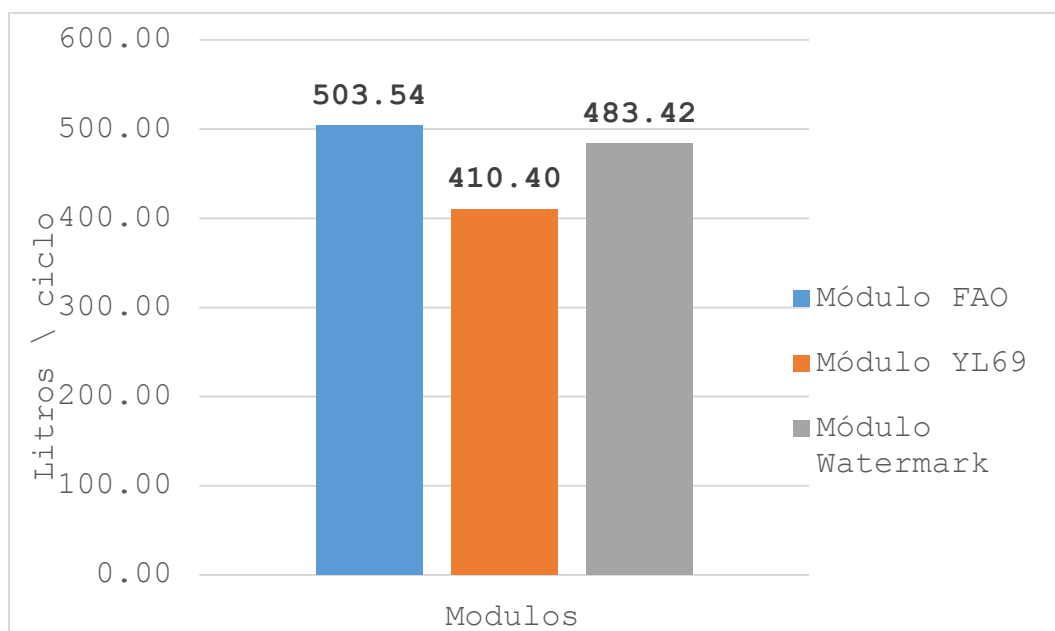


Figura 8. Agua utilizada por tratamiento de estudio

De acuerdo al análisis estadístico de las lecturas obtenidas de humedad de los diferentes métodos de riego que comprendió el ciclo de cultivo de 170 días nos arroja la siguiente tabla.

Tabla 7. Comparación de medias para la variable de humedad.

Tratamiento		Humedad
FAO (Hargreaves and Samani)	+ YL69	68.0176 a ^z
Sensor YL69	+ YL69	65.6412 c
Sensor Watermark	+ YL69	49.8353 b

^z Valores con la misma letra dentro de las columnas, son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$

Se muestra que el método de riego fue diferente en todos los tratamientos, siendo el que mayor porcentaje de humedad aprovechable lo obtuvo FAO (Hargreaves-Samani) esto a raíz que utilizó más agua, caso contrario con el sensor de constante dieléctrica YL69 obtuvo una menor cantidad de humedad disponible esto por aplicar menos agua, al



realizar el análisis y vistas en campo en ambos tratamientos el cultivo no presento estrés hídrico.

Benéfico costo

En la Figura 9, se observa la sumatoria del costo energético durante el ciclo de producción del cultivo de fresa, el donde se demostró que utilizando el sistema, riego serial, cuyo costo es \$ 7,800.00 MN más el costo energético mensual de \$ 51.58 MN que durante los 6 meses del ciclo nos da \$309.47 MN siendo un total de \$8,109.00 en comparación de un riego tradicional, donde se pagaría un salario mínimo diario de \$ 141.7 MN en mano de obra, por los 6 meses del ciclo alcanzando la cantidad de \$25,506.00 MN, sumando además el costo energético generado siendo un total de \$25,815.47, asumiendo lo siguiente podemos demostrar que, usando un sistema de riego inteligente, ahorra un 13.00 %.

Navarro (2018) demostró que un sistema inteligente favorece optimizar el consumo de agua, reduciendo por tanto el gasto público energético hasta un 60 %. Mientras que Muñoz (2014) y Arroyo et al. (2015) sostienen que la automatización del sistema de riego para el cultivo de fresas contribuye a la reducción de costos de producción y el aumento de beneficio en la rentabilidad económica

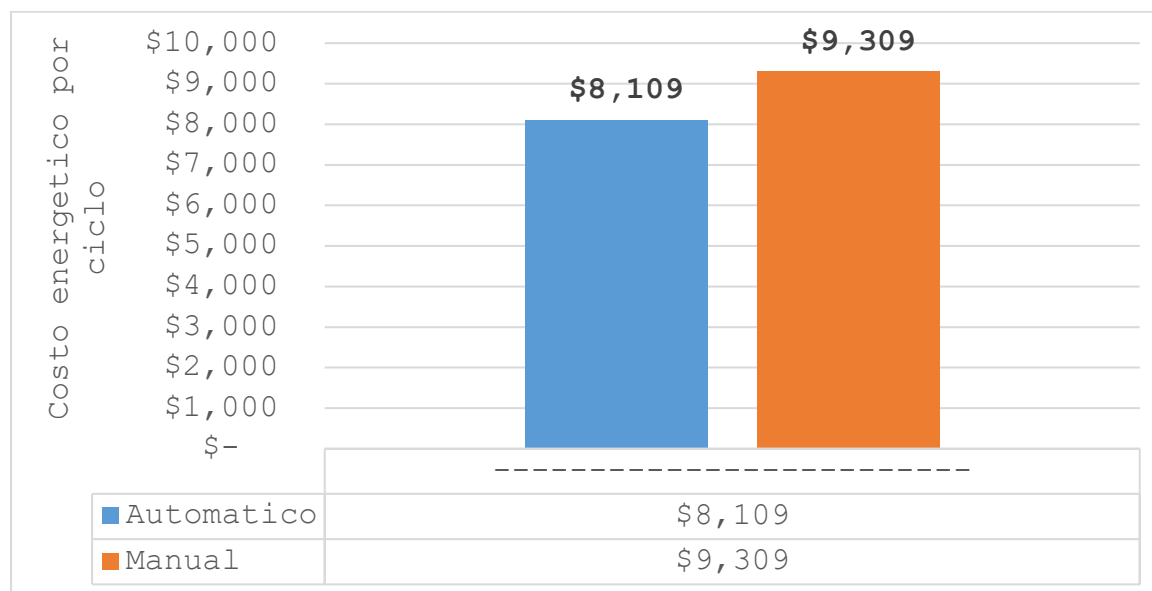


Figura 9. Costo energético

Conclusión

La implantación de un SCADA que pueda controlar el riego de precisión acompañados de sensores que midan la humedad del suelo, es fundamental para garantizar el uso sostenible del agua. Además, que genera un ahorro en costos de producción.

Referencias Bibliográficas

Aque Foundation. (2018). *INNOVACIÓN*. Recuperado el 10 de abril de 2018, de RIEGO INTELIGENTE, UNA FORMA DE AHORRAR AGUA Y OPTIMIZAR LOS CULTIVOS: <http://www.fundacionaque.org/magazine-agua/riego-inteligente-una-forma-de-ahorrar-agua-y-optimizar-los-cultivos/>

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes D.; Smith, M. . (2006). Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y drenaje* 56, 15-28.

Araque Gómez, J. C., Archila Díaz, J. F., & Gómez Flórez, L. C. (2019). Modelo SCADA de un sistema de monitoreo del recurso hídrico aplicado a Smart Farming. *Espacios*, 40, 1-15.

Arroyo, M. M., Fernández , G. I., Gonzalez Perea, R., García Morillo, J., Rodríguez Díaz, J., Camacho, E., & Montesinos, P. (2015). EL RIEGO DE PRECISIÓN EN EL CULTIVO DE FRESA EN LA PROVINCIA DE HUELVA. *XXXIII Congreso Nacional de Riegos*. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/CNRiegos.2015.1462>



- Fernández de Córdoba, Á., Christian Patricio, & Vanegas, D. H. (2018). *Diseño e implementación de un sistema SCADA para el control de riego mediante un dispositivo móvil*. Universidad del Azuay, Bachelor's thesis.
- Figueres, J. A., & González, J. (2019). *Seguimiento en tiempo real y control metrológico de una red de riego a presión con HydraSmart Flow Metering*. Actas del XXXVII Congreso Nacional de Riegos, Don Benito (Badajoz). España: Asociación Española de Riegos y Drenajes y la Universidad de Extremadura. doi:10.17398/AERYD.2019.B18
- González Robaina, F. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en cuba. *Suelo y agua*, 7.
- Irrrometer. (2017). *WATERMARK Sensores de humedad del suelo*. Obtenido de <http://www.irrometer.com/sensors.html#wm>
- López, E. P. (octubre de 2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en marcha*, 28(4), 3-14. doi:10.18845/tm.v28i4.2438
- Lozano, D., Ruíz, N., & Gavilán, P. (2016). UN NUEVO MODELO DE GESTIÓN DEL RIEGO DEL CULTIVO DE LA FRESA EN LA PROVINCIA DE HUELVA. XXXIV Congreso Nacional de Riegos. doi:<http://dx.doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.A010>
- Muñoz Fuerez, O. R. (2014). *Sistema automático de riego por goteo para cultivo de fresas artesanal*. Ecuador (Bachelor's thesis).
- Navarro Moya, A. (2018). Automatismo y telegestión del riego en zonas verdes públicas. *Smart Biosystem*, 4.
- Nestor Frans, J. C., & Benavides Añamuro, S. A. (2017). *Implementación de un sistema SCADA para riego del área verde de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica*.
- Romantchik Kriuchkova, E., López Cañtens, G., & Chávez Aguilera, N. (2018). Diseño e instalación de un sistema de control automático de malla sombra, caso cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4328-4340.
- Ruiz, A. C., & Molina Martínez, J. M. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Marcombo.
- Salinas Arco, M. R. (2018). *Diseño de un prototipo de sistema automatizado con Arduino para riego en el cultivo de fresas*. Universidad De Guayaquil tesis.
- Toro Melendez, S. X., Tangarife Escobar, H. I., & Carmona Cadavid, C. V. (2019). Implementación del sistema SCADA , aplicación a invernaderos para optimizar el control y la monitorización del microclima en el cultivo de hortalizas. *56 Revista Siembra CBA*, 55-63.