

# BANCO AUTOMATIZADO PARA PRUEBAS DE RIEGO POR GOTEO

Ramírez Rubio Jesús Martín (1), Saldaña Robles Noé (2), Saldaña Robles Alberto (2), Saldaña Robles Adriana (2)

1 [Programa de licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato ] | [ Dirección de correo electrónico: [jesmarr@gmail.com](mailto:jesmarr@gmail.com) ]

2 [Departamento de Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato ] | [ Dirección de correo electrónico: [saldanar@ugto.mx](mailto:saldanar@ugto.mx) ]

## Resumen

Desde hace décadas la escasez de agua dulce en el planeta se convirtió en uno de los principales problemas para el futuro, dado a eso se comenzaron a buscar e implementar nuevas formas y métodos para optimizar el uso del agua. Hoy en día el agua empleada en la agricultura se extraer de pozos cuyas profundidades cada vez son mayores, lo que ha ocasionado que la calidad del agua que se usa haya cambiado dramáticamente en los últimos años. Algunos de los principales cambios se reflejan en la calidad del agua. En este trabajo se realizó una investigación para habilitar un banco de prueba automatizado para el sistema de riego por goteo, con la finalidad de poder determinar la precisión con que el volumen de agua es liberado en determinado tiempo y a determinado descenso de los depósitos del banco. Pues el banco pretende utilizarse en investigación del efecto de metales pesados en agua de riego sobre los cultivos, controlando el volumen de aplicación de agua de riego, la frecuencia y las concentraciones de los metales en el agua de riego.

## Abstract

For decades, the scarcity of fresh water on the planet has become one of the main problems for the future, as new ways and methods to optimize the use of water have been sought and implemented. Nowadays the water was used in agriculture and extracted from the feet in the depth of water used in recent years. Some of the major changes are reflected in the quality of the water. In this work, an investigation was conducted to enable an automated test bench for the drip irrigation system, in order to determine precision of the volume of water applied in irrigation by the test bench. Therefore, the bank intends to be used in research of heavy metals in the irrigation water and its effect on crops, controlling the frequency and the levels of the irrigation water.

## Palabras Clave

Optimizar, agua, calidad, salud humana.

## INTRODUCCIÓN

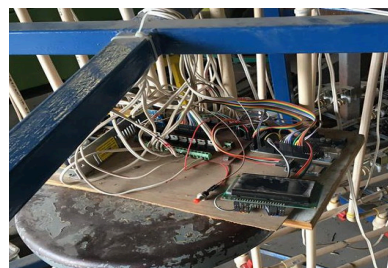
La escasez de agua dulce afecta a más del 40% de la población mundial, porcentaje que crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático [1]. La escasez de agua en algunas regiones del mundo pone en riesgo el sector agrícola; La producción de alimentos, deberá aumentar un 60% para satisfacer la demanda para una población que se estima de 9.000 millones de personas en 2050, siendo el sector agrícola el que más agua utiliza según datos de la FAO (organización de la ONU para la Alimentación y la Agricultura) [2]. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para aprovechar y optimizar lo más posible el agua y así permitir que las plantas utilicen plenamente los demás factores para su producción y elevar los rendimientos de nuestro cultivo [3]. Es pertinente resaltar que la agricultura ha causado impactos negativos en la calidad del agua de ríos, acuíferos y sistemas lagunares costeros que se utilizan como zonas de descarga de desechos de las mismas prácticas agrícolas. Entre los principales cambios en la calidad del agua, se encuentra la presencia de metales pesados y otros elementos en concentraciones altas, que pueden poner en riesgo la salud humana [4]. La investigación reciente ha observado que los cultivos absorben los metales pesados y lo acumulan en todos sus órganos, incluyendo los frutos. El presente trabajo tiene como objetivo realizar la calibración de un banco automatizado para pruebas de riego por goteo, que permita, controlar el riego. El banco de riego pretende controlar el volumen de agua que se aplicará por planta y la frecuencia de aplicación. El propósito es liberar volumen de agua con una variación aceptable (<1%) y ser lo más económico posible. Este trabajo se realizó para analizar la uniformidad del volumen de agua liberado por orificio y modulo de riego del banco y la posibilidad de emplear cintilla de riego comercial. El método de control del volumen de agua a liberar se incluyó como

variable adicional, proponiendo dos métodos de control, mediante tiempo de aplicación y caudal, y mediante la profundidad del agua en el contenedor del agua de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Banco de riego

El equipo principal empleado en el experimento es un banco de riego para laboratorio, diseñado y construido por personal de la División de Ciencias de la Vida con fines de investigación. El banco está conformado por una estructura metálica principal de soporte, un conjunto de 16 módulos de riego y un circuito de control (Imagen 1).



**IMAGEN 1. Arduino armado**

Cada módulo de riego está conformado por un contenedor de agua de 5 litros que se ubican a 3 m de altura respecto del suelo, un conjunto de tubos y conectores de cpvc, conectados por un extremo al contenedor, y en el extremo inferior de los tubos hay una electroválvula y finalmente conectores necesarios para la cintilla de riego, la cual está al final y libera el agua de riego. La cintilla de riego empleada fue de 6 mil, 20 cm entre goteros con un largo de 2.5 m.

## Circuito de control y programa

El circuito de control y el programa fueron diseñados para que cada módulo puede iniciar y detener el riego en tiempos distintos, con diferentes frecuencias y número de riegos. El circuito de control está formado por un microcontrolador Arduino MEGA, una pantalla de LCD de 128X64 puntos, un circuito RTC para contar con información de fecha y hora, un módulo microSD, una fuente de voltaje de 12 V y 20 A, una fuente de voltaje 5 V y 3 A, un circuito para accionar las electroválvulas y un sensor ultrasónico de distancia. El programa fue desarrollado en el lenguaje script de C del microcontrolador. Al encender el circuito de control, el programa cargado en el microcontrolador verifica la presencia de una microSD, busca y lee archivo "riego.txt" y genera una advertencia en caso de no encontrarlo, deteniendo cualquier acción adicional.

## Control del volumen liberado por tiempo

El primer experimento se realizó controlando el volumen de agua de riego mediante el tiempo de apertura de la electroválvula. Para programar el tiempo de apertura de la electroválvula, en la microSD se almacenó el archivo "riego.txt" con los datos de riego en formato programado. Para este experimento se programaron 3 módulos de riego con cintillas cada una con 12 goteros. Los riegos se programaron para 1, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 minutos con una sola repetición. Previo al inicio del riego, en cada gotero de cada una de las 3 cintillas se colocó un vaso de plástico del número 12, en donde se capturó el agua que salió del gotero, se llenaron los contenedores de agua sobre una marca hecha para un volumen de 5 litros. Entonces, se encendió el circuito de control con la microSD instalada y programada para liberar agua abriendo la electroválvula un tiempo de un minuto. Una vez concluida la aplicación del riego se midió (con probeta de 100 ml) y registró el volumen de agua recuperado en cada vaso de las tres cintillas. Enseguida, se llenaron los contenedores de agua y se procedió a repetir el procedimiento para los otros tiempos.

## Control del volumen liberado por profundidad

Este experimento se realizó conectando un sensor ultrasónico de distancia en la parte superior de un contenedor del banco de riego. El sensor ultrasónico se colocó de tal forma que la distancia medida fue la normal del espejo del agua hasta el sensor mismo. Por lo tanto, al abrir la electroválvula el descenso del agua ocasionó un aumento de la distancia medida. En el experimento, se programó el microcontrolador para que, al alcanzar una distancia al espejo del agua, éste cerró la electroválvula. Para este experimento el sensor quedó a una distancia de 4 cm del espejo del agua y se dejó descender a tres profundidades 7, 10 y 13 cm. Previo al inicio del riego, en cada gotero de la cintilla se colocó un vaso de plástico del número 12, en donde se capturó el agua que salió del gotero. Una vez concluida la aplicación del riego se midió (con probeta de 100 ml) y registró el volumen de agua recuperado en cada vaso. Enseguida, se llenó el contenedor de agua hasta el nivel de 4 cm sensor-espejo de agua y se procedió a repetir el procedimiento para las otras profundidades. Tres repeticiones se realizaron para cada profundidad.

## Diseño de experimentos y análisis de datos resultantes

Un análisis de varianza de variable multinivel se aplicó a los datos de ambos experimentos. Para el primer experimento las variables independientes fueron los módulos, el número de gotero y el tiempo, y el volumen de agua fue la variable dependiente. Se realizó una regresión simple de tiempo y volumen de agua medido, pues es el comportamiento esperado. Para el segundo experimento, las variables independientes fueron goteros y distancia sensor-espejo de agua, y la variable dependiente fue el volumen de agua. En este caso también se realizó la regresión lineal entre sensor-espejo de agua y volumen medido. Adicionalmente se analizó la repetibilidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

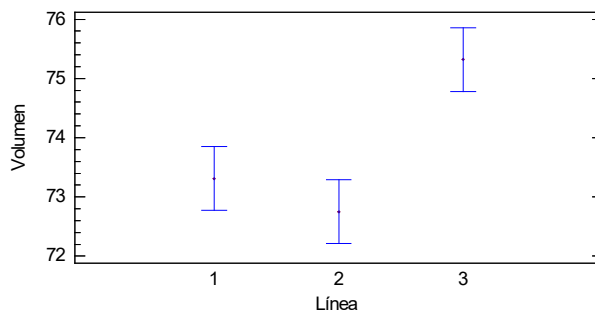
### Control del volumen liberado por tiempo

Los resultados del experimento se concentran en la estadística básica (tabla 1). Se observa un incremento de volumen medio de agua liberada conforme aumenta el tiempo y con una desviación estándar que también aumenta, aunque ésta disminuye en términos de porcentaje del volumen medio.

**Tabla 1. Volumen promedio tirado por línea**

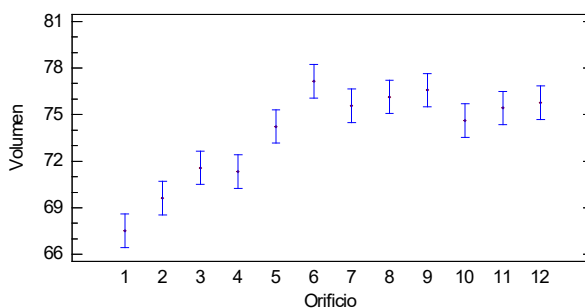
Tiempo (min)	Volumen medio (ml)			Desviación volumen (ml)		
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3
1	12.3	10.4	14.7	2.0944	1.9752	3.6515
3	25.6	24.7	29.4	2.4293	2.9025	3.6045
6	42.2	48.1	51.3	4.0639	3.9877	4.2283
9	75.3	73.3	77.5	6.1219	5.4293	5.9314
12	85.9	86.5	88.0	3.9648	2.316	3.5675
15	124.0	123.3	122.2	6.5505	3.114	3.6639
18	148.0	143.0	144.2	6.1496	5.4272	4.4687

El análisis de varianza mostró que las tres variables modulo (línea) de riego, gotero y tiempo influyeron sobre el volumen de agua liberado. En la Imagen 2 se muestran gráficos de comparación de medias por el método de diferencia significativa mínima ( $p < 0.05$ ). Se puede observar que los módulos 1 y 2 liberaron un volumen de agua similar sin diferencia estadística significativa, mientras que el módulo 3 liberó un mayor volumen. Esta diferencia del módulo 3 se puede asociar a la cintilla, pues el resto de los elementos del módulo son tubos y codos difícilmente generan diferencias.



**IMAGEN 2. Gráfica de volumen promedio total.**

Con respecto a los goteros, se observa en la Imagen 3 que los goteros más pegados a la salida de agua (7 a 12) presentan uniformidad en el volumen de agua liberado, mientras que los goteros más alejados (1 a 6) reducen su volumen en forma casi proporcional a su distancia a la salida.



**IMAGEN 3. Gráfica de volumen promedio total.**

Lo anterior pudiera explicarse en términos de la presión del agua en la cintilla, pues la cintilla está diseñada para trabajar con una presión de 0.8 MPa, y el banco de riego logra (por gravedad) alcanzar una presión de 0.25 MPa con el propósito de evitar la bomba, considerando que el tramo de cintilla es de 2.5 m, contra los 167 m que se manejan en campo con dicha cintilla. En la Imagen 4, se observa la recta de regresión entre el tiempo de riego y el volumen de agua liberado. La  $R^2$  fue de 0.9814 y los valores predichos de volumen presentaron un error absoluto medio de 4.95 ml, lo que puede representar una proporción muy alta del volumen de agua aplicado en tiempos cortos

como los programados en el presente trabajo (30% para un minuto de riego).

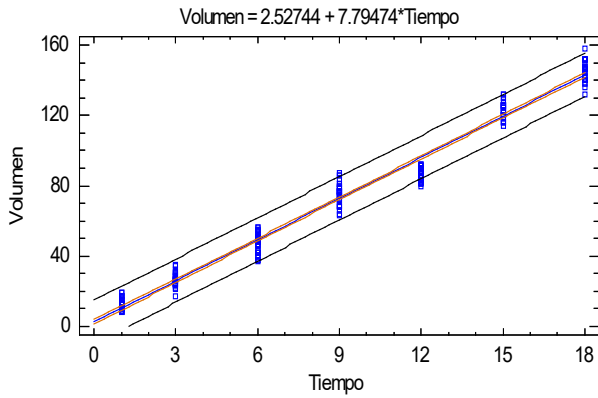


IMAGEN 4. Gráfica de volumen promedio total.

### Control del volumen liberado por profundidad

Los resultados del control de volumen con sensor ultrasónico de distancia se muestran en la tabla 2. El volumen liberado, como es de esperarse, incrementa conforme la profundidad en el contenedor aumenta, mientras que la desviación estándar ocasionada por los goteros fluctuó desde 2.5 hasta 4.1 ml. En contraste con la variabilidad de volumen liberado por los goteros, se observa que el volumen medio entre repeticiones para la misma profundidad varió desde 0.1 ml hasta 0.4 ml, lo que indica la precisión del sensor ultrasónico para detener la aplicación del riego.

Tabla 2. Volumen promedio total tirado

Profundidad	Volumen medio de agua (ml)			Desviación estándar (ml)		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
4 a 7 (3 cm)	66.2	65.7	66.1	4.1	2.8	2.9
4 a 10 (6 cm)	113.1	113.3	113.4	3.5	2.7	2.5
4 a 13 (9 cm)	141.9	141.7	141.6	3.6	2.8	2.7

La precisión del sensor ultrasónico para detener el riego y conseguir un volumen medio de aplicación uniforme quedó confirmada en el análisis de varianza ( $p < 0.05$ ), pues el volumen medio no presentó diferencias significativas entre repeticiones. Sin embargo, para la profundidad y los goteros, el volumen medio presentó diferencia estadística significativa. Lo anterior corrobora el mismo hallazgo para el primer experimento de tiempo. El planteamiento de un experimento en el que se trabaje con al menos dos valores de presión del agua, mayores a 0.25 MPa, puede contestar si es posible reducir las variabilidades del volumen medio liberado por los goteros y los módulos. Por otra parte, la regresión lineal simple entre profundidad y volumen de agua presentó un valor de  $R^2$  de 0.9916 (Imagen 5), lo que supera lo encontrado para la regresión lineal tiempo-volumen medio de agua, además el error porcentual medio de las predicciones fue de 2.7% del volumen máximo aplicado, contra el 3.5% encontrado para la ecuación de tiempo-volumen de agua.

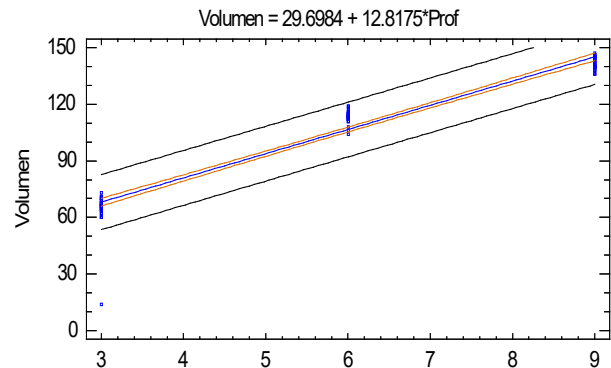


IMAGEN 5. Gráfica de volumen promedio total.

## CONCLUSIONES

El banco de riego para experimentación aún no está listo, pues los módulos y los goteros presentaron influencia significativa en el volumen de agua liberada en el riego simulado, independientemente del método de control del volumen de agua a liberar, tiempo o sensor ultrasónico. De acuerdo con los modelos de regresión lineal, los mejores resultados de predicción del volumen de agua liberada por el sistema de riego se lograron mediante el uso del sensor de distancia para controlar dicho volumen. Se sugiere que la cintilla empleada y la presión manejada en el sistema pudieran ser los principales causantes de la variabilidad del volumen medio de agua liberada entre goteros y módulos de riego del banco. Por lo anterior, un experimento que maneje la presión (valores mayores al empleado en este trabajo) como un factor y diferentes tipos de cintilla como otro factor, pudieran mejorar la precisión del volumen de agua liberado por el banco de riego, por gotero y módulo de riego.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi asesor el Dr. Noé Saldaña Robles por su tiempo y disposición en todo momento para el desarrollo de este proyecto. Así como a la Universidad de Guanajuato por haberme dejado participar en este programa y por abrir el espacio para estudiantes puedan desarrollarnos en este ámbito de investigación.

## REFERENCIAS

- [1]. <https://www.forbes.com.mx/padece-escasez-de-agua-mas-del-40-de-la-poblacion-mundial/>
- [2]. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/escasez-de-agua-pone-riesgo-produccion-de-alimentos-seg-articulo-598178>
- [3]. <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
- [4]. [https://www.researchgate.net/publication/280319205\\_Agricultura\\_y\\_deterioro\\_ambiental](https://www.researchgate.net/publication/280319205_Agricultura_y_deterioro_ambiental)
- [5]. (PDF) Agricultura y deterioro ambiental. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/280319205\\_Agricultura\\_y\\_deterioro\\_ambiental](https://www.researchgate.net/publication/280319205_Agricultura_y_deterioro_ambiental) [accessed Jul 23 2018].