

# PROTOTIPO DE INFILTRÓMETRO ELECTRONICO PARA PRUEBA DE CAMPO

## INFILTRMETER ELECTRONIC PROTOTYPE FOR AUTOMATED FIELD TESTING

Rafael España<sup>1</sup>, Franco Antonucci<sup>1</sup>, Mariana España<sup>2</sup> y Daniela España<sup>2</sup>

Correos: [respana1@gmail.com](mailto:respana1@gmail.com)

<sup>1</sup> UNELLEZ VPA <sup>2</sup> CIDMI

Recibido : 11 de mayo de 2023

Aceptado : 04 de diciembre de 2023

### RESUMEN

La prueba de infiltración es crucial para la gestión del riego y la evaluación de la pérdida de agua en cuerpos como lagunas. Este proceso implica múltiples mediciones de tiempo y lámina de agua, lo que puede extenderse por varias horas dependiendo de la textura del suelo. El objetivo del trabajo es desarrollar un infiltrómetro digital que facilite la medición de la capacidad de infiltración del suelo de manera confiable y sencilla, utilizando componentes de ARDUINO, que son parte de una comunidad internacional dedicada al software y hardware libre. El diseño del prototipo comenzó con la conceptualización de los componentes electrónicos necesarios para medir la lámina de agua en diferentes intervalos de tiempo, siguiendo los requisitos de la prueba de infiltración de doble anillo. Se elaboró un diagrama de flujo para esquematizar el proceso, y la programación del microcontrolador se realizó en el editor Firmware Arduino 1.8.16, utilizando librerías para una pantalla LCD y un sensor ultrasónico de distancia. Posteriormente, se evaluó el diseño en un simulador para asegurar la viabilidad del prototipo. Finalmente, se construyó el dispositivo, que verifica la distancia desde el sensor hasta el agua en secuencias temporales, comparando los resultados con mediciones manuales. El microcontrolador realiza cálculos de infiltración parcial y acumulada, así como de velocidad de infiltración y parámetros de regresión. Se concluye que este dispositivo no solo agiliza el proceso de medición, sino que también reduce costos y la necesidad de mano de obra.

**Palabras clave:** Arduino, Microcontroladores, Infiltración básica, Movilidad de agua en el suelo.

### ABSTRACT

The infiltration test is crucial for irrigation management and the evaluation of water loss in bodies such as ponds. This process involves multiple time and water sheet measurements, which can extend for several hours depending on soil texture. The objective of the work is to develop a digital infiltration meter that facilitates the measurement of soil infiltration

capacity in a reliable and simple way, using ARDUINO components, which are part of an international community dedicated to free software and hardware. The prototype design started with the conceptualization of the electronic components needed to measure the water sheet at different time intervals, following the requirements of the double ring infiltration test. A flowchart was developed to outline the process, and the programming of the microcontroller was done in the Arduino 1.8.16 Firmware editor, using libraries for an LCD display and an ultrasonic distance sensor. Subsequently, the design was evaluated in a simulator to ensure the feasibility of the prototype. Finally, the device was built, which verifies the distance from the sensor to the water in time sequences, comparing the results with manual measurements. The microcontroller performs calculations of partial and cumulative infiltration, as well as infiltration velocity and regression parameters. It is concluded that this device not only speeds up the measurement process, but also improves the quality of the water.

**Keywords:** Arduino, Microcontrollers, Basic infiltration, Soil water mobility.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema electrónico digital que automatiza La prueba de infiltración proporciona información necesaria para la correcta aplicación del agua de riego y otras aplicaciones en ingeniería como determinar las pérdidas de agua de una laguna, esta prueba requiere varias mediciones que requieren uso prolongado de recursos tanto humano como equipos, por esta razón ha caído en desuso, muchos agricultores y agrónomos no usan información de infiltración para diseñar riego debido al tiempo y costos de las pruebas de infiltración.

Sabemos que la infiltración esta influenciada por los factores que afectan la conductividad hidráulica: Tamaño y proporción de material del suelo, contenido de arena y arcilla, contenido salino del agua y el suelo, presencia de microorganismos, existencia de grietas cavidades, variaciones y características físicas del perfil de suelo, bloqueo de poros. (1), Así pues, sabemos que un suelo con varios años de labranza puede presentar piso de arado y por ende tendrá una capa compactada que limitará la absorción de agua y la posterior disponibilidad para el cultivo en el tiempo, es por ello que consideramos que esta prueba debe facilitarse y abaratare su costo, pues es necesaria y facilita el uso eficiente del agua de riego.

Medir tiempo y lámina de agua, puede durar de varias horas, según la textura del suelo, con este trabajo se pretende desarrollar un prototipo de un infiltrometro digital de medir la capacidad de infiltración de un suelo de manera fácil y confiable usando componentes ARDUINO producidos por una empresa y una comunidad internacional de software y hardware libres, que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan detectar y controlar objetos del mundo real

## **METODOLOGÍA**

Con el objetivo de desarrollar un prototipo con Arduino para automatizar la medición de la infiltración en campo, se siguió un proceso, desarrollando tres diferentes fases para llegar a la creación del prototipo: en una primera fase se desarrolló la idea general, donde se conceptualizaron los componentes electrónicos del prototipo para medir lámina de agua con las duraciones diferentes tiempos, según los requerimientos de la prueba infiltración de doble anillo siguiendo los procedimientos detallados por Grassi (2).

En la segunda fase se procedió a realizar el diagrama de flujo esquematizando el proceso y la programación del microcontrolador se realizó en el editor Firmware Arduino 1.8.16 usando las librerías para la pantalla LCD (liquid cristal display) modelo Pantalla TFT ILI9341 y sensor ultrasónico de distancia HC-SR04. Siguiendo indicaciones de los criterios de diseño de Del Valle (3)

Finalmente, y como última fase se procedió a evaluar en el simulador para determinar los componentes necesarios para el funcionamiento y la viabilidad del prediseño construyendo el prototipo.

### **La prueba de infiltración**

Uno de los métodos utilizado para la determinación de la infiltración, es el cilindro infiltro-metro. El más común consiste en dos cilindros concéntricos de diámetros diferentes 25 y 40 cm aproximadamente, se pone en ambos una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse. Las mediciones se realizan en el cilindro interno y La necesidad de que sean 2 cilindros se debe a favorecer el movimiento del agua en el

suelo en una sola dimensión, la vertical, tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

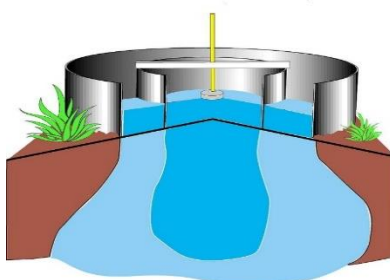


Ilustración 2 esquema de instalación de cilindros infiltrómetro concéntricos

Se mide la altura del nivel de agua y el tiempo que tarda en incorporarse al suelo, tal como lo muestran las columnas A Y B de la Tabla 1.

Tabla 1 Valores medidos y calculados en la prueba de infiltración

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Hora (hh:m)	Lectura (cm)	llenado	T parcial (min)	T acum. (min)	Lam parcial (cm)	Lam Acum (cm)	Vel. Infiltracion inst. (cm/hr)	Vel. Infiltracion Acum. (cm/hr)
9:00	16,5		0	0	0	0		
9:01	17,8		01:00	01:00	1,3	1,3	78	78
9:02	18,6		01:00	02:00	0,8	2,1	48	63
9:03	19		01:00	03:00	0,4	2,5	24	50
9:04	19,5	16,3	01:00	04:00	0,5	3	30	45
9:05	16,9		01:00	05:00	0,6	3,6	36	43,2
9:06	17,4		01:00	06:00	0,5	4,1	30	41
9:08	18,2		02:00	08:00	0,8	4,9	24	36,75
9:10	19,2		02:00	10:00	1	5,9	30	35,4
9:15	21,3	16,1	05:00	15:00	2,1	8	25,2	32
9:20	17,8		05:00	20:00	1,7	9,7	20,4	29,1
9:25	19,9	16	05:00	25:00	2,1	11,8	25,2	28,32
9:30	17,6		05:00	30:00	1,6	13,4	19,2	26,8
9:40	20,4	16,1	10:00	40:00	2,8	16,2	16,8	24,3
9:50	19,6	15,6	10:00	50:00	3,5	19,7	21	23,64
10:00	18,7	15,4	10:00	00:00	3,1	22,8	18,6	22,8
10:20	21	15,8	20:00	20:00	5,6	28,4	16,8	21,3
10:40	21	15,8	20:00	40:00	5,2	33,6	15,6	20,16
11:00	20,6		20:00	00:00	4,8	38,4	14,4	19,2

Las columnas C a la I , muestran los valores calculados a partir de las mediciones en campo, determinando las variables derivadas hasta llegar a velocidad de infiltración, estos

valores nos indican la capacidad de infiltración de un suelo, y ayudan a determinar la conductividad hidráulica, que es una cuantificación de la permeabilidad, posteriormente se requiere hacer una regresión lineal, de la lámina de infiltración acumulada en centímetros en función del tiempo en minutos, esta ecuación de infiltración permitirá calcular la infiltración básica, una constante por tipo y condiciones de suelo que de primordial importancia para el cálculo de riego.

Los valores de la regresión se calculan en la Tabla 1 Tabla 2. Se aplica función logarítmica para ajustar a una línea recta el comportamiento y se estiman los valores que definen la línea recta, pendiente e intercepto, en la forma de la ecuación  $I_{cum} = a * t^m$ . esta transformación matemática y su ajuste ayuda a la interpretación de valores y condiciones de suelos, para hacer un uso eficiente del agua.

Tabla 2 Regresión tiempo en función de lámina acumulada

J	K	L	M	N	O	P	Q
Nº	Tiempo (min)	La acum (cm)	Log T (x)	Log Lacum (y)	X 2	y2	Xy
0		0					
1	1	1,3	-	0,114	-	0,013	-
2	2	2,1	0,301	0,322	0,091	0,104	0,097
3	3	2,5	0,477	0,398	0,228	0,158	0,190
4	4	3	0,602	0,477	0,362	0,228	0,287
5	5	3,6	0,699	0,556	0,489	0,309	0,389
6	6	4,1	0,778	0,613	0,606	0,376	0,477
7	8	4,9	0,903	0,690	0,816	0,476	0,623
8	10	5,9	1,000	0,771	1,000	0,594	0,771
9	15	8	1,176	0,903	1,383	0,816	1,062

<b>10</b>	20	9,7	1,301	0,987	1,693	0,974	1,284
<b>11</b>	25	11,8	1,398	1,072	1,954	1,149	1,498
<b>12</b>	30	13,4	1,477	1,127	2,182	1,270	1,665
<b>13</b>	40	16,2	1,602	1,210	2,567	1,463	1,938
<b>14</b>	50	19,7	1,699	1,294	2,886	1,676	2,199
<b>15</b>	60	22,8	1,778	1,358	3,162	1,844	2,415
<b>16</b>	80	28,4	1,903	1,453	3,622	2,112	2,766
<b>17</b>	100	33,6	2,000	1,526	4,000	2,330	3,053
<b>18</b>	120	38,4	2,079	1,584	4,323	2,510	3,294
			<b>21,174</b>	<b>16,456</b>	<b>31,362</b>	<b>18,401</b>	<b>24,007</b>

Los cálculos se basan en las ecuaciones de Servicio de conservación de suelos reseñadas por Grassi (4), y las ecuaciones utilizadas para este cálculo se muestran a continuación. En el eje de las ordenadas se representa el tiempo acumulado y en el eje de las abscisas se representa la infiltración acumulada.

Posteriormente se determinan la pendiente y el intercepto para  $t = 1$  a = incógnita, resolviendo para La ecuación de la infiltración básica del suelo es  $I_{cum} = a * t^m$ , las ecuaciones de velocidad de infiltración, y tiempo básico para el cálculo de infiltración básica se muestran a continuación.

Ecuación 1 Velocidad de Infiltración (Fp)

$$F_p = \frac{\delta (a * t^m)}{t}$$

Ecuación-2 Velocidad de Infiltración (Fp)

$$F_p = m * a * t^{(m-1)}$$

### Ecuación-3 Tiempo Básico (Tb)

$$T_b = -600 (m-1)$$

Sustituyendo el tiempo básico en la ecuación de velocidad de infiltración se determina la infiltración básica, estos procedimientos se calculan en campo para dar una retroalimentación al productor en sitio, evitando el post proceso de información, y permitiendo la toma de decisiones en sitio. Para uso eficiente del agua y del tiempo, recursos escasos y de gran valor para la producción agrícola.

## RESULTADOS

Primeramente, se conceptualizaron los componentes electrónicos del prototipo para medir lámina de agua a diferentes tiempos, según los requerimientos de la prueba de infiltración de doble anillo; tal como se muestra en la Ilustración 3 observamos la disposición propuesta y sus conexiones con los componentes necesarios para su funcionamiento: Placa Arduino 1, pantalla LCD (liquid cristal display) modelo Pantalla TFT ILI9341 y sensor ultrasónico de distancia HC-SR04, base para 4 baterías doble A, proto board, para hacer montaje, cables de conexión.

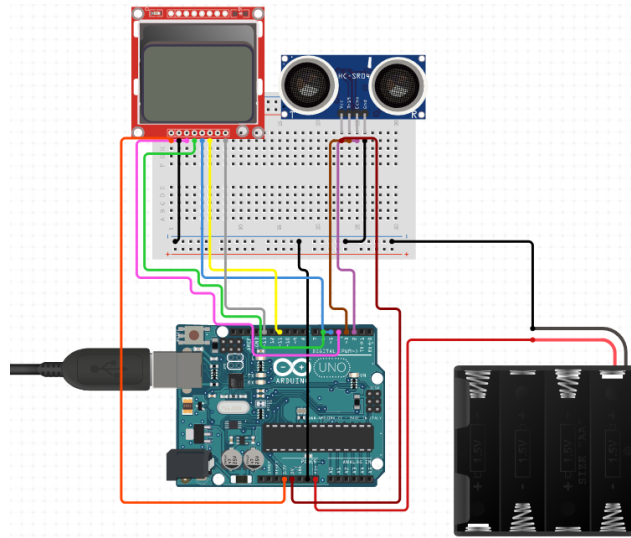


Ilustración 3 Diagrama de componentes electrónicos del prototipo de infiltración.

Seguidamente, se procedió a realizar el diagrama de flujo esquematizando, se determinaron los principales componentes del proceso y se ordenaron de acuerdo a la

lógica de programación: la inicialización de variables, cronometro, la medición de distancia al líquido con un promedio de 100 repeticiones para dar confiabilidad a la medición, se calcularon los parámetros de la regresión lineal, sumatorias, para cerrar el ciclo con los cálculos de intercepto y pendiente de la regresión, valores de velocidad de Infiltración, infiltración acumulada e Infiltración Básica, mostrando los resultados, hasta llegar al final del proceso. en la

Ilustración 4 se muestra el orden y correlación entre las actividades del programa.

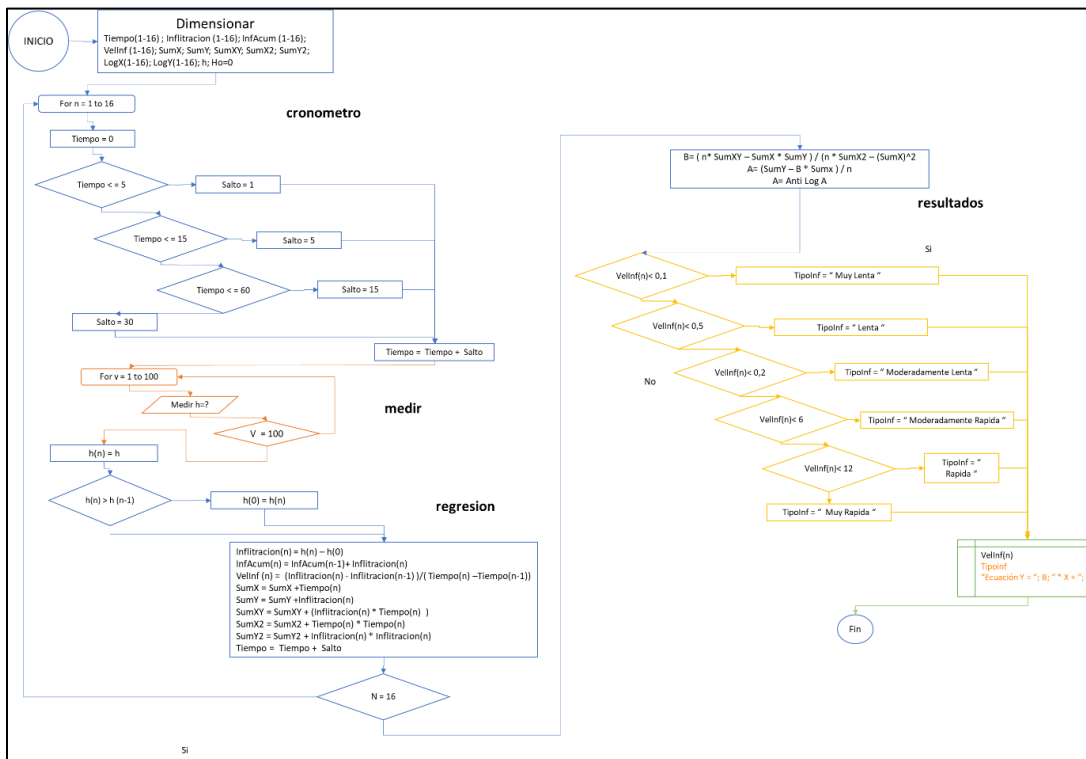


Ilustración 4 Diagrama de flujo

El proceso y la programación del microcontrolador se realizó en el editor Firmware Arduino 1.8.16 usando las librerías para la pantalla LCD (liquid cristal display) modelo Pantalla TFT ILI9341 y sensor ultrasónico de distancia HC-SR04. luego se procedió a



evaluar en el simulador para determinar los componentes necesarios para el funcionamiento y la viabilidad del prediseño.

Finalmente se construyó el prototipo verificando la medición de distancias del sensor al agua en secuencia de tiempos según los requerimientos de la prueba de infiltración la metodología del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos según (2), revisando los requerimientos para el ensayo y los tiempos de medición, resultando la tabla de valores a observar:

Tiempo a intervalos variables de 1 min a 15 min, altura de la lámina de agua dentro del cilindro y los valores a calcular; intervalo de tiempo, tasa de infiltración instantánea, e infiltración acumulada y se comparó con medición manual comparando los resultados obtenidos con los trabajos de (5) quien concluye que el método de pozo de nivel variable o Porchet tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de implementar; los resultados de media, mediana, error típico y desviación estándar son los mayores en comparación con los otros métodos para (6) quien desarrollo de un sistema electrónico digital que automatiza el método de infiltrómetro de anillos, requiere post proceso con un software en computador personal, la principal ventaja del Arduino es que se puede calcular en campo. Tal como lo detalla (7)

## CONCLUSIONES

Es viable la construcción de un dispositivo para agilizar el proceso y abaratar los costos y disminuye los requerimientos de mano de obra.

El sensor de nivel de agua con Arduino nos permite medir cualquier líquido gracias al sensor de ultrasonidos, es replicable y de bajo costo para los productores.

## REFERENCIAS

Alvarado Batres, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo en la cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación de la UNED*, 9(1), 23-33. <https://doi.org/10.33881/ciuned.1659-4266.2017.1.23-33>

Cerquera, Y. A., & López, L. G. A. (2010). Diseño de un sistema electrónico digital para automatizar la prueba de capacidad de infiltración del suelo en campo. *Dialnet*, 45-56. <https://doi.org/10.6018/dialnet.1657-6985.2010.1.45-56>

CIDIAT. (1996). *Manual de riego por aspersión*. Talleres Gráficos del CIDIAT.

del Valle Hernández, L. (2017). *Cómo hacer un prototipo Arduino* [Blog]. Programarfacil.com. <https://programarfacil.com/podcast/como-prototipo-arduino/>

del Valle Hernández, L. (2017). *Sensor de nivel de agua con Arduino* [Blog]. Programarfacil.com. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-de-nivel-de-agua-con-arduino/>

España, R. (2002). *El riego y el drenaje*. s.n.

Grassi, C. (2002). *Fundamentos de riego*. CIDIAT.