

Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino*

Low cost data acquisition system with the arduino platform

Martín Azúa-Barrón^{1§}, Mario Alberto Vázquez-Peña¹, Ramón Arteaga-Ramírez¹ y Raúl Hernández-Saucedo¹

¹Ingeniería Agrícola, Uso integral del Agua y Departamento de irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México, México. CP. 56227. [§]Autor para correspondencia: potosino92@hotmail.com.

Resumen

Aun cuando los avances en electrónica son inmensos y el mercado está saturado de instrumentos y sensores que permiten tomar y almacenar datos estos no suelen ser nada económicos y sigue existiendo la necesidad de disponer de aparatos que recopilen y almacenen información a bajo costo, que puedan ser accesibles a productores, investigadores o estudiantes con bajo presupuesto lo cual suele ser muy común en nuestro país; de allí que surja la necesidad de contar o tener la manera de construir un sistema de adquisición de datos (SAD) en este trabajo se menciona las partes necesarias así como los elementos que se requieren para construir un SAD económico y confiable basado en la plataforma Arduino.

Palabras clave: humedad relativa, memorias de almacenamiento, sensores y multiplexor, temperatura.

Introducción

Los seres humanos obtienen información del ambiente que los rodea a través de sus sentidos, los sistemas electrónicos adquieren información utilizando sensores, hoy en día están

Abstract

Although the advances in electronics are immense and the market is saturated with instruments and sensors that allow to take and store data these are usually not economic and there is still a need to have devices that collect and store information at low cost, which may be accessible to producers, researchers or students with low budget which is very common in our country; hence the need to tell or have a way to build a data acquisition system (SAD) in this paper mentions the necessary parts as well as the elements that are required to build an economic and reliable SAD based on the Arduino platform.

Keywords: relative humidity, sensors and multiplexer, storage memories, temperature.

Introduction

Humans get information from the environment that surrounds them through their senses, electronic systems acquire information using sensors, today they are present in all human activities, in systems for the industrial

* Recibido: diciembre de 2016
Aceptado: febrero de 2017

presentes en todas las actividades del quehacer humano, en los sistemas para el control industrial de procesos, automóviles, aviones, aparatos médicos, aparatos electrodomésticos, etc. y se han hecho una parte esencial para el bienestar de nuestras vidas (Reverter y Areny, 2005), en el caso de la agricultura la situación no es diferente y llegaron para quedarse; Abdullah y Barnawi (2012) mencionan que las redes de sensores están entre las 10 tecnologías emergentes que cambiarán el mundo para bien. El desarrollo por parte de la industria electrónica de los micro controladores, de una gama amplia de dispositivos útiles para censar las variables de interés, dispositivos externos de almacenamiento de datos SD (security digital), pantallas de cristal líquido y los multiplexores que permiten utilizar una misma entrada analógica del micro controlador para censar a la vez varias variables analógicas, de forma natural crea la necesidad de contar con un sistema de adquisición de datos sin tener que utilizar una notebook o computadora personal y surgen los dispositivos que adquieren y almacenan datos de señales analógicas comúnmente denominados registradores de datos (dataloggers) (Saha *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2014).

Aunque hoy en día la tendencia es hacia la utilización de sensores y aparatos inalámbricos (Postolache *et al.*, 2012). Sin duda ofrecen algunas ventajas en ciertas condiciones, siempre habrá situaciones donde sea más conveniente utilizar sensores tradicionales y de bajo costo. Sobre todo cuando se quiera censar superficies o ambientes pequeños como son invernaderos o parcelas pequeñas que con un poco de planeación el cableado no tenga que ser una situación complicada, además de no tener pérdidas significativas de voltaje. La adquisición de datos es definida como el proceso de tomar información de la realidad mediante una señal como entrada, puede ser corriente o voltaje, para su posterior procesamiento y análisis, almacenamiento u otro tipo de manipulación (Chase *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2012; Singh and Sharma, 2012).

Junior (2012), realizó una evaluación en la que compara el micro controlador de arduino en la medición de señales analógicas comparándolo con las salidas que arroja un ohmímetro (voltímetro) analógico concluye que se puede confiar en éste para la realización de mediciones analógicas en el suelo en lo que respecta a conductividad eléctrica. La comunidad científica ha mostrado interés en generar sistemas de adquisición de datos que sean económicos, fácil de construir, confiables, como los construido por Fisher y Kebede (2010); Rahmat *et al.* (2012) que se implementaron cumpliendo con los criterios anteriores.

control of processes, automobiles, airplanes, medical devices, household appliances, etc. and have become an essential part of the welfare of our lives (Reverter and Areny, 2005), in the case of agriculture the situation is not different and they arrived to stay; Abdullah and Barnawi (2012) mention that sensor networks are among the 10 emerging technologies that will change the world for good. The development by the electronics industry of microcontrollers, a wide range of devices useful for census of the variables of interest, external data storage devices SD (security digital), liquid crystal displays and multiplexers that allow to use a Same analog input of the micro controller to simultaneously census several analog variables, naturally creates the need to have a data acquisition system without having to use a notebook or personal computer and the devices that store and store the data of analog signals commonly called data recorders (dataloggers) (Saha *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2014).

Although today the trend is towards the use of wireless sensors and devices (Postolache *et al.*, 2012). They certainly offer some advantages in certain conditions, there will always be situations where it is more convenient to use traditional and low cost sensors. Especially when you want to census surfaces or small environments such as greenhouses or small plots that with a little planning the wiring does not have to be a complicated situation, in addition to not having significant losses of voltage. The acquisition of data is defined as the process of taking reality information through a signal as input, can be current or voltage, for further processing and analysis, storage or other manipulation (Chase *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2012; Singh and Sharma, 2012).

Junior (2012) carried out an evaluation in which he compares the arduino micro controller in the measurement of analogue signals comparing it to the outputs of an analog ohmmeter (voltmeter) it concludes that it can be relied upon to carry out analogue measurements in the ground in terms of electrical conductivity. The scientific community has shown interest in generating data acquisition systems that are economical, easy to build, reliable, such as those constructed by Fisher and Kebede (2010); Rahmat *et al.* (2012) that were implemented in compliance with the above criteria.

The applications of the sensors are diverse such as the automation of drip irrigation based on soil moisture sensors (Ventura *et al.*, 2010; Dursun y Ozden, 2011), to monitor

Las aplicaciones de los sensores son diversas como la automatización del riego por goteo basado en sensores de humedad del suelo (Ventura *et al.*, 2010; Dursun y Ozden, 2011), realizar monitoreo a invernaderos en tiempo real para controlar la luminosidad, el calor, ventilación, riego, etcétera (Kasaei *et al.*, 2011), medición de la radiación solar (Righini *et al.*, 2010), etc. Di Justo y Gertz (2013) muestran la manera de construir diferentes aparatos electrónicos para medir variables atmosféricas utilizando la plataforma arduino UNO.

La medición de la temperatura y la humedad relativa (HR) del aire son componentes esenciales de muchos programas meteorológicos (Whiteman *et al.*, 2000; Zagade y Kawitkar, 2012; Borate y Patil, 2013). Por esta razón en este trabajo se propone realizar un sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino, de fácil implementación y que puede ser utilizado para medir temperatura y HR.

Materiales y métodos

El dispositivo desarrollado se basa en la plataforma arduino UNO y los sensores utilizados que son de temperatura y humedad relativa se incluyen en el dispositivo comercial HMZ-433 A1; asimismo, se incorpora un módulo lector de tarjetas SD arduino y una memoria SD de 8 GB de memoria donde se graban los datos. Además se utilizó un par de placas fenólicas y cables para teléfono de 4 hilos, así como los componentes necesarios de la fuente de poder que alimenta al sistema.

Características de la placa arduino UNO. La placa arduino UNO es un dispositivo que se puede comprar ya construido, hay fábricas (SmartProjects en Italia) que los producen con una calidad estandarizada eliminando así las fuentes de error y están disponibles en las tiendas Steren y AGelectrónica entre otras. También se puede construir por quien esté interesado en ello (Tzaputzas, 2014). Los elementos básicos que constituyen la placa arduino UNO, así como sus características principales, si se compra de fábrica son: un micro controlador atmega 328, trabaja con un voltaje de operación de 5 volts, un regulador de voltaje integrado por lo que se puede alimentar externamente con una fuente de poder que opere en un rango de 6 a 20 volts aunque se recomienda no salir de los límites de 7 a 12 volts y un consumo de corriente de 40 mA; tiene seis entradas

greenhouses in real time to control the luminosity, heat, ventilation, irrigation, and so on (Kasaei *et al.*, 2011), solar radiation measurement (Righini *et al.*, 2010), etc. Di Justo and Gertz (2013) show how to construct different electronic devices to measure atmospheric variables using the UNO arduino platform.

The measurement of temperature and relative humidity (HR) of air are essential components of many weather programs (Whiteman *et al.*, 2000; Zagade and Kawitkar, 2012; Borate and Patil, 2013). For this reason, this paper proposes a low cost data acquisition system with the arduino platform, which is easy to implement and can be used to measure temperature and HR.

Materials and methods

The device developed is based on the arduino UNO platform and the sensors used that are of temperature and relative humidity are included in the commercial device HMZ-433 A1; also, an SD card reader Arduino module and an SD memory of 8 GB of memory where the data is recorded. In addition, a pair of phenolic plates and 4-wire telephone cables were used, as well as the necessary components of the power source that powers the system.

Characteristics of the arduino UNO board. The arduino UNO board is a device that can be bought already built, there are factories (SmartProjects in Italy) that produce them with a standardized quality thus eliminating the sources of error and are available in the stores Steren and AGelectrónica among others. It can also be built by anyone interested in it (Tzaputzas, 2014). The basic elements that make up the arduino UNO board, as well as its main features, if purchased from the factory are: an atmega 328 micro controller, it works with a voltage of operation of 5 volts, a voltage regulator integrated by what can be fed externally with a power source operating in a range of 6 to 20 volts although it is recommended not to leave the limits of 7 to 12 volts and a current consumption of 40 mA; has six analog and 14 digital inputs, 32 KB memory capacity to host the program that will be executed once recorded, 0.5 are used by the program called bootloader and it works with a clock frequency of 16 MHz, an EEPROM memory of 1 KB among other characteristics.

analógicas y 14 digitales, capacidad de memoria de 32 KB para alojar el programa que se ejecutará una vez grabado, 0.5 son usados por el programa llamado bootloader y funciona con una frecuencia de reloj de 16 MHz, una memoria EEPROM de 1 KB entre otras características.

El arduino es en realidad tres cosas: una placa (hardware libre), un software y un lenguaje de programación libre que nació el año de 2005 en el instituto de diseño interactivo Ivrea (Italia), el autor recomienda se especifique el tipo de arduino al que se está haciendo referencia puesto que hay diferentes placas arduino oficiales, cada una de ellas con características y prestaciones particulares (Torrente, 2013). En este documento cuando se hable de Arduino se trata del arduino UNO mismo que se muestra en la Figura 1.

El multiplexor analógico se alimenta con 5 volts y es el dispositivo electrónico que permite seleccionar varias entradas analógicas a un solo canal con pines de selección teniendo baja impedancia y bajo consumo y una dirección interna de decodificación, en adición la resistencia cuando está en funcionamiento es relativamente constante sobre todo el rango de entrada, el multiplexor usado es el CD4067B con 16 canales que son seleccionados usando cuatro entradas digitales de control cuya combinación de entradas será de acuerdo a la tabla que se muestra en la Figura 2 y será la que defina el canal a utilizar. En la misma figura se muestra el diagrama de conexión del multiplexor, si se requiere información adicional se puede consultar la hoja de datos del fabricante.

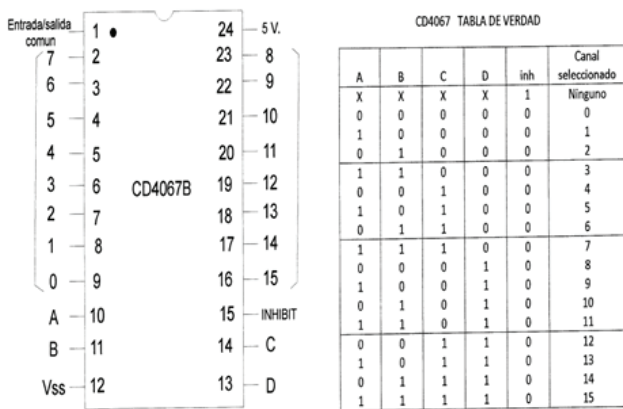


Figura 2. Datos del multiplexor CD4067.
Figure 2. Data of the CD4067 multiplexer.

Con un dispositivo de esta clase se pueden manejar 16 entradas analógicas diferentes y conducir las salidas a una sola entrada analógica del micro controlador, que es una

The arduino is actually three things: a board (free hardware), a software and a free programming language that was born in 2005 at the Interactive Design Institute Ivrea (Italy), the author recommends specifying the type of Arduino at which is being referenced since there are different official arduino boards, each of them with particular characteristics and performance (Torrente, 2013). In this document when speaking of arduino it is the same Arduino ONE that is shown in Figure 1.



Figura 1. Aspecto físico del Arduino UNO.
Figure 1. Physical appearance of the Arduino UNO.

The analog multiplexer is powered by 5 volts and is the electronic device that allows to select several analog inputs to a single channel with selection pins having low impedance and low consumption and an internal direction of decoding, in addition the resistance when in operation is relatively constant over the entire input range, the multiplexer used is the CD4067B with 16 channels that are selected using four digital control inputs whose combination of inputs will be according to the table shown in Figure 2 and will be the one that defines the channel to use. The connection diagram of the multiplexer is shown in the same figure. If additional information is required, the manufacturer's data sheet can be consulted.

With a device of this kind can handle 16 different analog inputs and outputs to a single analog input of the micro controller, which is one of the fundamental parts of this work. To indicate the channel to be read it is necessary to use 4 digital pins of the microcontroller whose outputs will connect to the inputs A, B, C, D of the multiplexer. This same digital signal can be used to add a second and a third multiplexer whose common outputs are connected to different analog inputs of the microcontroller.

SD arduino Reader Module. This device is available in the market at a cost of approximately \$50.00 and the main function is to interface between the Arduino board and

de las partes fundamentales de este trabajo. Para indicar el canal que se va a leer es necesario utilizar 4 pines digitales del micro controlador cuyas salidas conectarán a las entradas A, B, C, D del multiplexor. Esta misma señal digital puede usarse para agregar un segundo y un tercer multiplexor cuyas salidas comunes se conecten a entradas analógicas diferentes del micro controlador.

Módulo Lector SD arduino. Este dispositivo se encuentra a la venta en el mercado a un costo aproximado de \$50.00 y la función principal es servir de interface entre la placa Arduino y la memoria SD, se muestra en la Figura 3a, el diagrama de conexión entre el Modulo Lector SD y la placa Arduino se aprecia en Figura 3b.

Este módulo lector SD puede alojar una memoria SD con capacidad de 2, 4, 8, 16 ó 32 GB, es una cantidad de memoria adecuada para la mayoría de los proyectos, puesto que el formato de grabado es en texto, posteriormente se pasa a formato numérico con una hoja de cálculo ya sea comercial (Excel) o de dominio público como lo es open office.

El consumo de memoria es bajo, como ejemplo se tiene que 1 000 datos en formato texto de cuatro cifras significativas consume alrededor de 6 KB de memoria, si se considera que se van a censar 16 datos por segundo al usar una memoria de 8 GB puede almacenar datos durante 1 000 días, que lo hace muy eficiente e indica que 8 GB es una buena cantidad de memoria. Esta memoria tiene un formato no volátil muy utilizado en dispositivos portátiles (Figura 4).



Figura 4. Memoria seguridad digital (SD).
Figure 4. Digital security memory (SD).

El dispositivo HMZ-433A1, contiene los sensores de temperatura y humedad relativa (Figura 5a) y la manera como se conecta al arduino UNO (Figura 5b).

En la Figura 6 se observa la respuesta del sensor a la temperatura, que es proporcionada por el fabricante, y se aprecia que no es lineal por lo que es necesario contar con un modelo de ajuste y para ello se resuelve un sistema de una

SD memory, shown in Figure 3a, the connection diagram between the SD Reader Module and The arduino plate is shown in Figure 3b.

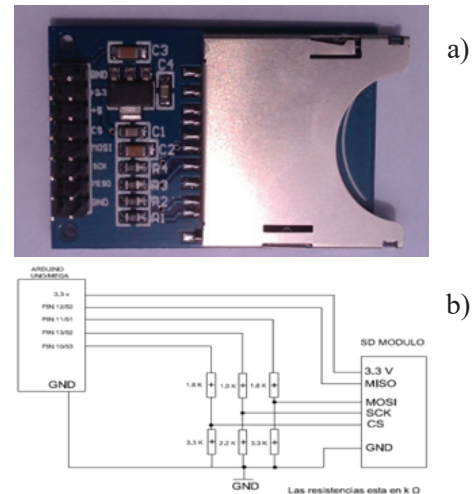


Figura 3. Modulo lector SD (a) y diagrama de conexión (b).
Figure 3. SD reader module (a) and connection diagram (b).

This SD reader module can accommodate an SD memory with 2, 4, 8, 16 or 32 GB capacity, it is a suitable amount of memory for most projects, since the recording format is in text, later it is passed to Numerical format with a spreadsheet either commercial (Excel) or public domain as is open office.

Memory consumption is low, as an example you have that 1 000 data in text format of four significant figures consumes about 6 KB of memory, considering that you are going to census 16 data per second when using a memory of 8 GB can store data for 1000 days, which makes it very efficient and indicates that 8 GB is a good amount of memory. This memory has a non-volatile format widely used in portable devices (Figure 4).

The HMZ-433A1 device contains the temperature and relative humidity sensors (Figure 5a) and the way it is connected to the arduino UNO (Figure 5b).

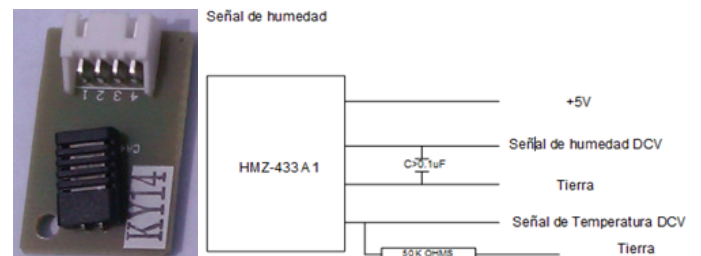


Figura 5. HMZ-433A1 (a) y diagrama de conexión (b).
Figure 5. HMZ-433A1 (a) and connection diagram (b).

ecuación con tres incógnitas para encontrar los coeficientes, mismos que serán utilizados en el código de programación (Trastejant, en línea).

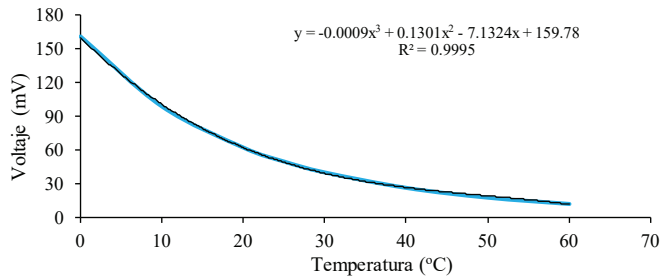


Figura 6. Respuesta del sensor a la temperatura.
Figure 6. Sensor response to temperature.

La fuente de poder necesaria para la alimentación de este dispositivo puede comprarse o construirse y debe suministrar un voltaje de 9 voltios e intensidad de corriente de 1 ampere, la construcción de las fuentes de poder y el montaje de los circuitos no debe suponer ninguna dificultad si se tiene en cuenta la regla básica de que los conductores deben ser lo más corto posible (Kilgenstein, 1996). Asimismo, se utilizan los materiales básicos de un laboratorio de electrónica entre los que se encuentran los multímetros, estación de soldar, pinzas, y desarmadores, entre otros materiales. En la Figura 7 se observa la respuesta del sensor a la humedad relativa, que es proporcionada por el fabricante y es lineal.

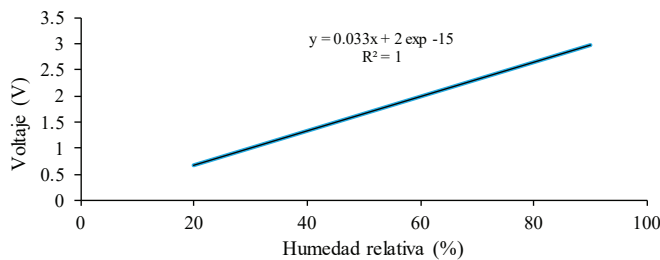


Figura 7. Respuesta del sensor a la humedad relativa.
Figure 7. Sensor response to relative humidity.

Se construyó primero en una tablilla de prototipos (protoboard) de acuerdo al diagrama que se presenta en la Figura 8. En el esquema se muestra el diagrama de un solo HMZ-433 A1 que contiene los sensores de temperatura y humedad relativa conectado a los canales 0 y 1 del multiplexor CD4067, de esa misma manera se pueden conectar los sensores restantes hasta agotar los 16 canales disponibles del multiplexor

In the Figure 6 shows the response of the sensor to the temperature, which is provided by the manufacturer, and it is noted that it is not linear so it is necessary to have an adjustment model and for this a system of an equation is solved with three unknowns to find the coefficients, which will be used in the programming code (Trastejant, online).

The power source required for the power supply of this device can be purchased or constructed and must supply a voltage of 9 volts and current of 1 ampere, the construction of the power sources and the assembly of the circuits should not be difficult if the basic rule is that drivers should be as short as possible (Kilgenstein, 1996). Also, the basic materials of an electronic laboratory are used, among which are the multimeters, soldering station, clamps, and screwdrivers, among other materials. In the Figure 7 shows the sensor response to relative humidity, which is provided by the manufacturer and is linear.

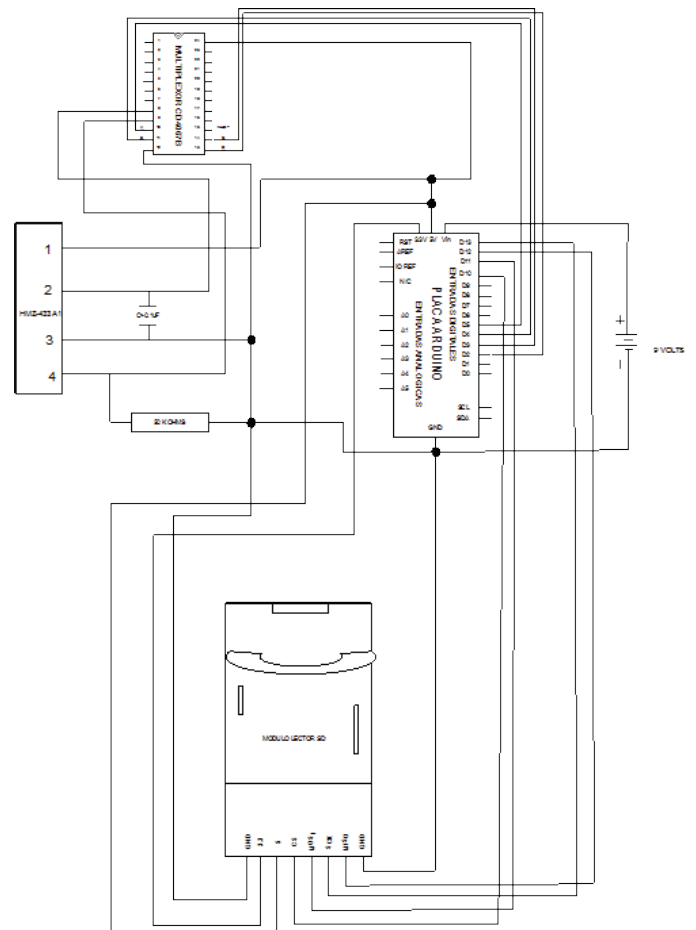


Figura 8. Diagrama de conexión de los componentes del SAD.
Figure 8. Connection diagram of SAD components.

Desarrollo del programa

Para realizar la programación del arduino, es necesario usar una computadora, no requiere de altas prestaciones y el software o programas de cómputo necesarios se encuentran disponibles en la red de manera gratuita (<https://www.arduino.cc/en/main/software>) (Figura 9).



Figura 9. Ambiente de desarrollo de arduino.
Figure 9. Arduino development environment.

El lenguaje de programación arduino se basa en C/C++ como se indica en la sitio oficial y se cuenta con una gran cantidad de librerías que son de libre acceso y facilitan mucho la tarea de programación. Se programó el dispositivo para censar las variables cada hora y mantener los sensores sin energía cuando no se realiza la medición, y mediante una instrucción se energizan medio minuto antes de iniciar la toma de lecturas y se apagan inmediatamente después, la placa arduino UNO se mantiene energizada todo el tiempo, se le adaptó una batería recargable de 12 volts para que en caso de fallar el suministro de energía eléctrica de la red no deje de censar y no exista pérdida de información.

Es necesario destinar cuatro salidas digitales del arduino UNO para poder indicar al multiplexor cual canal de entrada de los 16 disponibles va a direccionar al canal de salida que será introducido a la entrada analógica de la placa arduino UNO. Otras cuatro salidas digitales se utilizan para el protocolo de conexión y almacenamiento de datos en la memoria SD. El archivo que se crea en caso de no existir

It was first constructed on a protoboard tablet according to the diagram shown in Figure 8. The diagram shows the diagram of a single HMZ-433 A1 containing the temperature and relative humidity sensors connected to the channels 0 and 1 of the CD4067 multiplexer, in the same way the remaining sensors can be connected until the 16 available channels of the multiplexer are exhausted.

Development of the program

For programming the arduino, it is necessary to use a computer, it does not require high performance and the necessary software or computer programs are available on the network for free (<https://www.arduino.cc/en/main/software>) (Figure 9).

The arduino programming language is based on C/C++ as indicated in the official site and has a large number of libraries that are freely accessible and make the programming task a lot easier. The device was programmed to count the variables every hour and to keep the sensors without power when the measurement is not carried out, and by means of an instruction they are energized half a minute before beginning the taking of readings and they turn off immediately after, the plate arduino UNO is maintained Energized all the time, it is adapted a rechargeable battery of 12 volts so that in case of failure the electric power supply of the network do not stop census and there is no loss of information.

It is necessary to assign four digital outputs of the arduino UNO to be able to indicate to the multiplexer which input channel of the 16 available will be directed to the output channel that will be introduced to the analog input of the arduino UNO board. Four other digital outputs are used for the data connection and storage protocol in SD memory. The file that is created in case it does not exist is named datalog.txt and where the data that is previously converted to a string of characters is recorded by the program recorded in the arduino.

Results and discussion

It was verified that the prototype even in protoboard worked adequately in a period of 24 h, was placed inside a meteorological stand with the 14 sensors two

es nombrado datalog.txt y donde se graban los datos que previamente se convierten a una cadena de caracteres por el programa grabado en el arduino.

Resultados y discusión

Se verificó que el prototipo aun en protoboard funcionara adecuadamente en un periodo de 24 h, se colocó en el interior de una caseta meteorológica con los 14 sensores dos por cada HMZ-433 A1 (Figura 10) y posteriormente se descargaron los datos de la memoria a un computador.

Después de abrir el archivo datalog.txt con los datos de temperatura y Humedad relativa registrados y poniendo el encabezado en la hoja de cálculo, quedan de la manera que se indica en la Figura 11. La información presentada se registró en la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo el día 24 de febrero de 2014.

En la Figura 11a se presenta los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos: con los sensores HMZ-433A1, en una estación automática y en una estación convencional.

En la Figura 11 se aprecia el comportamiento de los diferentes sensores que en general es uniforme, son datos de la estación automática y reportados por el personal de la estación meteorológica, que presentan mayor variación, lo cual puede deberse a factores diversos como falta de mantenimiento del instrumental, error humano al realizar las observaciones o la falta de calibración de los sensores utilizados lo cual está fuera del alcance de este trabajo (Figura 11 b).

El objetivo de esta prueba es mostrar la efectividad del SAD como herramienta para censar temperatura y humedad relativa y en forma general ver su capacidad para leer y almacenar datos, además de permitir una forma muy simple de transferir la información a la computadora personal.

El sistema de adquisición de datos construido puede ser reprogramado para censar las variables de interés a la frecuencia que se requiera y los datos se almacenan en una memoria SD de 8 GB la cual puede ser remplazada por una memoria de capacidad mayor, la lista de materiales y los costos se presentan en el Cuadro 1.

for each HMZ-433 A1 (Figure 10) and later the data was downloaded from the memory To a computer. After opening the datalog.txt file with the temperature and relative humidity data recorded and putting the header in the spreadsheet, they remain as shown in Figure 11. The information presented was recorded in the weather station of the Autonomous University Chapingo on February 24, 2014.

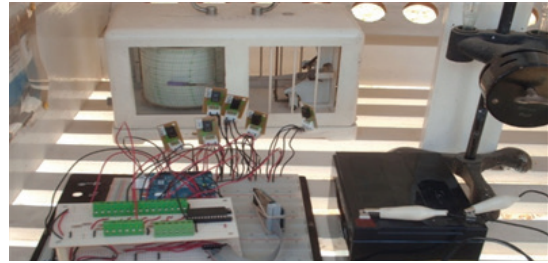


Figura 10. Aspecto de los sensores HMZ-433 A1 dentro de la garita meteorológica.

Figure 10. Aspect of the HMZ-433 A1 sensors inside the weather gauge.

In the Figure 11a shows the temperature and relative humidity data obtained: with the HMZ-433A1 sensors, in an automatic station and in a conventional.

Meteorological station, the behavior of the different sensors, which is generally uniform, are the data of the automatic station and those reported by the personnel of the meteorological station, those that present greater variation, which can be due to diverse factors like lack of maintenance of the instrument, human error in making the observations or the lack of calibration of the sensors used which is beyond the scope of this work (Figure 11 b).

The objective of this test is to show the effectiveness of the SAD as a tool to censor temperature and relative humidity and in general to see its capacity to read and store data, as well as allowing a very simple way to transfer the information to the personal computer.

The built-in data acquisition system can be reprogrammed to census the variables of interest at the required frequency and the data is stored in an 8 GB of SD memory which can be replaced by a larger capacity memory, and the costs are presented in Table 1.

a)

Horas	Datos estación							Datos automatica								
	Temp1 (°C)	HR1 (%)	Temp2 (°C)	HR2 (%)	Temp3 (°C)	HR3 (%)	Temp4 (°C)	HR4 (%)	Temp5 (°C)	HR5 (%)	Temp6 (°C)	HR6 (%)	Temp7 (°C)	HR7 (%)	Temp auto	HR auto
9	15.59	52.85	15.92	52.35	16.11	51.73	16.11	51.88	16.35	52.5	16.2	49.3	15.84	53.19	13.9	65
10	19.18	43.49	19.62	42.52	19.71	42.16	19.79	42.68	19.97	42.61	19.71	39.91	19.36	43.49	17.7	50
11	22.44	34.32	22.71	33.75	22.88	33.4	22.97	33.99	22.97	34.5	22.88	31.67	22.53	34.6	21.3	36
12	23.53	27.62	23.77	27.7	23.95	26.75	24.4	27.7	24.13	27.11	24.4	25.11	23.77	27.78	22.9	30
13	25.21	26.17	25.44	25.65	25.66	25.36	25.66	26.7	25.75	26.9	25.75	23.92	25.39	26.65	24	29
14	26.62	22.9	26.89	22.25	27.12	22.22	27.3	23.17	27.12	23.8	26.95	21.39	26.66	23.83	25.1	27
15	26.21	22.1	26.66	21.23	26.75	21.22	26.61	22.3	26.88	21.72	26.84	20.6	26.39	22.31	26.1	24
16	27.12	20.84	27.3	20.43	27.55	20.24	27.49	21.1	27.58	20.76	27.58	19.15	27.21	21.22	26.2	24
17	26.11	23.79	26.48	22.78	26.66	22.79	26.39	23.81	26.57	23.62	26.48	21.56	26.11	24.16	25.9	23
18	23.33	29.64	23.66	28.48	23.86	28.46	23.51	29.74	23.77	29.48	23.68	26.8	23.24	29.96	22.8	28
19	21.64	31.52	21.91	30.56	22.9	30.33	21.73	31.63	21.1	31.42	21.91	28.75	21.54	31.95	20.9	30
20	20.76	32.91	21.3	31.95	21.2	31.74	20.85	32.96	21.11	32.83	21.3	30.13	20.67	33.34	19.9	31
21	19.88	35.3	20.23	34.11	20.37	33.87	19.97	35.3	20.32	35.1	20.15	32.21	19.71	35.56	19.1	34
22	19.49	40.51	19.71	39.43	19.97	39.11	19.62	40.36	19.89	40.26	19.79	37.15	19.44	40.89	17.7	35
23	18.49	46.6	18.92	45.6	19.8	44.91	18.65	45.85	19.9	45.7	19	42.55	18.48	46.76	16.5	45
24	17.25	57.82	17.69	56.48	17.9	55.47	17.6	56.2	17.96	56.3	17.87	53.22	17.34	57.99	15	60
1	16.45	63.9	16.81	62.6	17.8	61.14	16.9	62.6	17.3	62.5	16.91	59.98	16.52	64.17	14.1	73
2	15.15	65.73	15.5	64.5	15.76	63.51	15.59	63.95	15.76	64.31	15.62	61.8	15.15	65.78	13.5	73
3	13.38	74.21	14	71.8	14.38	69.85	13.93	70.64	14.2	71.4	13.84	69.7	13.41	73.56	11.7	82
4	11.96	72.62	12.51	70.41	12.86	68.7	12.79	69.37	12.65	70.9	12.63	67.8	12.16	71.1	9.8	89
5	10.37	77.82	10.99	75.2	11.27	72.84	11.6	73.35	11.5	74.66	10.98	72.1	10.53	76.88	8	92
6	9.86	79.83	9.72	78.52	9.9	77.23	9.45	78.84	9.81	78.5	9.66	76.37	9.27	80.44	7.7	96
7	8.99	79.69	9.36	77.9	9.62	76.56	9.31	78.4	9.47	77.87	9.45	75.5	8.99	79.52	8	96
8	11.34	70.66	11.96	68.23	12.44	66.41	12.51	66.18	12.31	67.94	12.24	64.56	11.95	68.88	8.9	96
9	15.84	61.59	16.19	61.23	16.47	60.2	16.55	59.91	16.64	60.47	16.46	57.75	16.2	61.51	14.5	78

b)

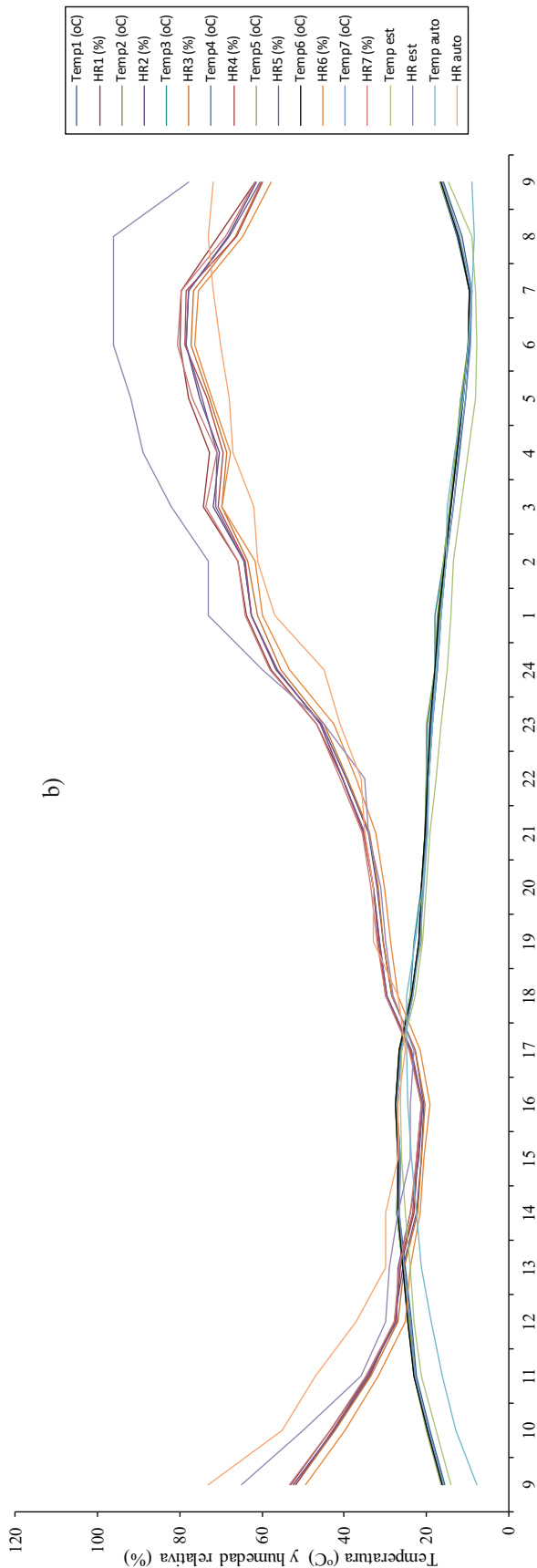


Figura 11. Datos obtenidos con los siete sensores en operación y datos medidos en la estación meteorológica Chapingo (a) y gráfica generada (b).
 Figure 11. Data obtained with the seven sensors in operation and data measured at Chapingo (a) and generated graphical station (b).

Cuadro 1. Lista de los principales componentes del SAD desarrollado y su costo en dólares.

Table 1. List of main components of the developed SAD and its cost in dollars.

Descripción	Número de parte	Fabricante	Costo (US\$)
Arduino UNO	A000066	SmartProjects	17.00
Multiplexor	CD4067BE	Motorola Cmos L. D	1.52
2 placas fenólicas	MOD 400	Steren	5.76
Modulo lector SD	S/N	Shenzhen LC Tech. Co	3.84
Memoria SD de 8 GB	S/N	Kingston Technology	10.00
Sensores	HMZ-433A1	Ghitron Technology	8.22
Gabinete	GP-11	Steren	5.30
Cable de tel. de 4 vías 5m	MO4T-305	Steren	1.52
6 borneras	TRT-03	Steren	2.27
Partes misceláneas	S/N	Diversos	1.89

En los SAD comerciales en ocasiones la reprogramación de la frecuencia de medición o el mantenimiento suelen ser complicados y requerir de personal especializado. El que se propone en este trabajo consta de menos partes, es de muy fácil construcción y apoyado en los recursos que gratuitamente comparte la comunidad de Arduino resulta muy fácil su reprogramación (Torrente, 2013). Se logró un balance entre construcción, programación, memoria, funcionalidad y costo, lo que lo hace muy versátil. Fisher y Kebede (2010), proponen un sistema de adquisición de datos de bajo costo para monitorear la temperatura y humedad de los cultivos, se muestra la lista de los componentes y costos requeridos para implementarlo en el Cuadro 2. El costo total de este dispositivo es de 84.1 dólares. Uno de las debilidades de este sistema es su capacidad de almacenamiento limitado a la memoria que utiliza.

El costo de las partes esenciales para la construcción del SAD se desglosa en el Cuadro 1 y dan un total de 57.32 dólares, costo menor al presentado en el cuadro 2 que corresponde a la propuesta de Fisher y Kebede (2010), y es más económico

In commercial SADs sometimes reprogramming of measurement frequency or maintenance is often complicated and requires specialized personnel. The one proposed in this work consists of fewer parts, is very easy to build and supported by the resources freely shared by the arduino community, its reprogramming is very easy (Torrente, 2013). It achieved a balance between construction, programming, memory, functionality and cost, which makes it very versatile. Fisher and Kebede (2010) propose a low-cost data acquisition system to monitor crop temperature and humidity, list the components and costs required to implement it in Table 2. The total cost of this device is \$84.10. One of the weaknesses of this system is its storage capacity limited to the memory it uses.

Cuadro 2. Lista de materiales y costos para monitorear temperatura y humedad de los cultivos.

Table 2. List of materials and costs for monitoring crop temperature and humidity.

Descripción	Número de parte	Fabricante	Costo (US\$)
Microcontroller	Pic16f88	Microchip technologies	2.60
Real-time clock	DS1307	Dallas semiconductor	3.00
Memory	24LC1025	Microchip technologies	4.00
Counter	74HC4060	Fairchild semiconductor	0.50
Voltage regulator	LP2950	National semiconductor	0.50
Voltage regulator	UA78M33C	Texas instrument	1.00
Miscellaneous (oscillator, resistor, capacitors, headers, sockets, batteries, cables, etc.)			13.00
Air temperature sensor	LM35	National semiconductor	1.00
Soil temperature sensor	TC74	Microchip technologies	1.50
Infrared temperature sensor	MLX90614	Melexis	27.00
Soil temperature sensor	200-55	Irrrometer	30.00

Fuente: Fisher y Kebede (2010).

que cualquiera de los dataloggers comerciales que presentan prestaciones similares o menores. Se presenta una lista de diferentes sistemas de adquisición de datos que se pueden comprar en tiendas en línea como son www.ebay.com y www.mercadolibre.com en donde se pueden adquirir artículos usados y nuevos (Cuadro 3). Se aprecia que los costos son altos si se comparan con el costo total de los componentes del SAD propuesto en el Cuadro 1.

En la Figura 12 se presenta el aspecto físico del SAD construido y se aprecia la sencillez lograda.

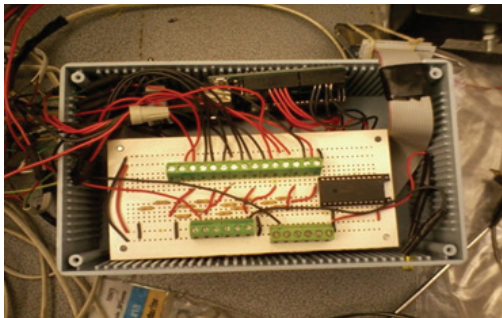


Figura 12. Sistema de adquisición datos.
Figure 12. Data acquisition system.

Conclusiones

Es posible construir un SAD de bajo costo basado en la plataforma Arduino, con conocimientos básicos de programación y electrónica utilizando los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a precios accesibles. La inclusión del multiplexor analógico le da capacidad al sistema para censar hasta 16 variables analógicas como la temperatura y humedad relativa aunque pueden ser consideradas otras variables al contar con sensores para su medición.

El utilizar la plataforma Arduino lo hace un SAD muy versátil, sencillo y confiable, puesto que se puede reprogramar fácilmente para censar variables de interés diversas y puede ser implementado rápidamente. Se evita la pérdida de datos en las interrupciones del suministro de la red si se adapta una batería recargable de 9 voltios como fuente de alimentación secundaria.

Este dispositivo se puede utilizar con ventajas en trabajos de investigación o en extensiones de cultivo pequeñas donde se tengan la necesidad de monitorear variables de interés,

The cost of the essential parts for the construction of the SAD is broken down in Table 1 and give a total of \$57.32, lower cost than that presented in table 2 that corresponds to the Fisher and Kebede (2010) proposal, and is more economical than any of the commercial dataloggers that present similar or lower performance. A list of different data acquisition systems that can be purchased from online stores such as www.ebay.com and www.mercadolibre.com is available, where used and new items can be purchased (Table 3). It can be seen that costs are high when compared to the total cost of the proposed SAD components in Table 1.

Cuadro 3. Costo de algunos dataloggers que se encuentran disponibles en las tiendas en línea.

Table 3. Cost of some dataloggers that are available in online stores.

Descripción	Link para más información	Costo (US dls)
GPRS/SMS NEMOS LP	http://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-de-medida/medidor/modulo-inalambrico-microcom-datalogger-gprs-sms-nemos-lp-det_356543.htm	970.00
TC módulo de adquisición de datos con termopares	http://es.omega.com/ppt/pptsc_es.asp?ref=tc-08	372.00
CEM DT-172	http://articulo.mercadolibre.com.mx/mlm-443972103-termohigrometro-ambiental-con-datalogger-_jm	160.00
Dickson	http://articulo.mercadolibre.com.mx/mlm-443185994-graficador-de-temphr-touchscreen-con-datalogger-_jm	720.00
Campbell scientific 21X8 input cannel	http://www.ebay.com/itm/campbell-scientific-21x-8-input-channel-19-296-data-points-humidity-data-logger-/221387917298?pt=lh_defaultdo_main_0&hash=item338bbf87f2	299.00
DT50 series T	http://www.ebay.com/itm/datataker-dt50-series-3-data-logger-new-/360884514278?pt=lh_defaultdo_main_3&hash=item540664ade6	1325.00

Fuente: (www.ebay.com y www.mercadolibre.com.mx) al momento de la investigación y que no necesariamente son nuevos.

también se puede usar como alternativa de medición en invernaderos o micro túneles. El sistema fue de bajo costo comparado con otro desarrollado por otro investigador resulto ser más barato. Y con sistemas parecidos que existen en el mercado presenta la misma característica.

Literatura citada

- Abdullah, A. and Barnawi, A. 2012. Identification of the type of agriculture suited for application of wireless sensor networks. *Rus. J. Agric. Socio. Econ. Sci.* 12(2):19-36.
- Borate, U. G. and Patil, R. T. 2013. Wireless real time proportional control system. *Inter. J. of Comm.* 1(2):15-20.
- Chase, A. O.; Sampaio, M. H. K.; Almeida, J. F. and Brito, de S. J. R. 2012. Data acquisition system: an approach to the amazonian environment. *Latin America Transactions, IEEE. Rev. IEEE Ame. Lat.* 10(2):1616-1621.
- Dursun, M. and Ozden, S. 2011. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. *Sci. Res. Essays.* 6(7):1573-1582.
- Di, J. P. and Gertz, E. 2013. Atmospheric monitoring with arduino. *Maker Press. Primera edición. USA.* 150 p.
- Fisher, D. K. and Kebede, H. 2010. A low-cost microcontroller-based system to monitor crop temperature and water status. *Elsevier B.V. Computers and electronics in agricultura.* 74:168-173.
- Junior, M. M.; Nunes, R. O. and Celinski, V. G. 2012. Evaluation of the use of a microcontroller measures the platform Arduino sensor data in electrical conductivity of solo. *Brasil. Rev. Eng. Technol.* 4:52-57.
- Kasaei, S. H.; Kasaei, S. M. and Kasaei, S. A. 2011. Design and development a control and monitoring system for greenhouse conditions based-on multi agent system. *Broad Res. Art. Intel. Neur. (BRAIN).* 2(4):28-35.
- Kilgestain, O. 1996. Fuentes de alimentación electrónica. *Circuitos prácticos de electrónica.* Ediciones CEAC. España. 120 p.
- Postolache, O.; Pereira, J. D. and Girão, P. M. 2012. Greenhouses microclimate real-time monitoring based on a wireless sensor network and gis. Republic of korea. In: *XX IMEKO world congress Methodology for Green Growth.* 1:1-5.
- Rahmat, M.; Azis, M.; Rustami, E.; Maulina, W.; Seminar, K. B.; Yuwono, A. S. and Alatas, H. 2012. Low cost configuration of data acquisition system for wireless sensor network. *Indonesia. International J. Eng. Technol.* 12(02):23-32.
- Reverter, F. and Pallas, A. R. 2005. Direct sensor-to-microcontroller interface circuit design and characterisation. *Spain.* 135 p.
- Righini, R.; Roldán, A.; Grossi, G. H.; Aristegui, R. y Raichijk, C. 2010. Nueva red de estaciones de medición de la radiación solar. In: *Comunicaciones del XXXIII Congreso de ASADES.* 11:1-5.
- Saha, S.; Islam, M. T. and Hossain, M. Z. 2006. Design of a low cost multi channel data logger. *ARNP. J. Eng. Appl. Sci.* 1(1):26-32.
- Sharma, K.; Shrimali, H.; Sing, H. J. and Chattri, A. 2012. Data acquisition and supervisory control system for environmental parameters in greenhouses. *Inter. J. Eng. Trends Technol.* 31(5):595-600.
- Singh, N. M. and Sharma, K. C. 2012. Design of PIC12F675 microcontroller based data acquisition system for slowly varying signals. *India. arXiv preprint arXiv:1207.2060.*

In the Figure 12 presents the physical aspect of the built SAD and shows the simplicity achieved.

Conclusions

It is possible to build a low-cost SAD based on the Arduino platform, with basic programming and electronics knowledge using the different devices that are available in the market at affordable prices. The inclusion of the analog multiplexer gives the system the ability to census up to 16 analog variables such as temperature and relative humidity although other variables can be considered when counting on sensors for measurement.

Using the Arduino platform makes it a very versatile, simple and reliable SAD, since it can be reprogrammed easily to census variables of diverse interest and can be implemented quickly. Data loss in network power interruptions is avoided by adapting a 9-volt rechargeable battery as a secondary power supply.

This device can be used with advantages in research works or in small crop extensions where the need to monitor variables of interest is also possible as an alternative of measurement in greenhouses or micro tunnels. The system developed was inexpensive because when compared to another developed by another researcher turned out to be cheaper. And with similar systems that exist in the market presents the same characteristic.

End of the English version



- Torrente, A. O. 2013. *Arduino. Curso práctico de formación.* Alfaomega. Primera Edición Rustica. Madrid, España. 588 p.
- Vázquez, R.; Robledo, A.; Toledo, P.; Mason, L.; Mariguetti, J. y Canali, L. 2014. Desarrollo de un procedimiento para construir un datalogger de bajo presupuesto utilizando un dispositivo genérico. In: *II Jornada de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes.* Argentina. 543 p.
- Ventura, F.; Facini, O.; Piana, S. and Rossi, P. P. 2010. Soil moisture measurements: comparison of instrumentation performances. *Journal of irrigation and drainage engineering. E-Asce.* 136(2):81-89.
- Whiteman, C. D.; Hubbe, J. M. and Shawe, W. J. 2000. Evaluation of an inexpensive temperature data logger for meteorological applications. *Am. Meteorol. Soc.* 17:77-81.
- Zagade, S. U. and Kawitkar, R. S. 2012. Advanced greenhouse using hybrid wireless technologies. *India. Inter. J. Adv. Res. Computer Sci. Electr. Eng.* 1(4):31-34.