

Capítulo 8 Sistema de adquisición de temperatura para diferentes profundidades de suelo en Ciudad del Carmen Campeche

Chapter 8 Temperature acquisition system for different soil depths in Ciudad del Carmen Campeche

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, Marco Antonio†*, SILVA-MARTÍNEZ, Walter Ariel, PATIÑO-CARACHURE, Cristóbal y PALEMON-ARCOS, Leonardo

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ingeniería, México.

ID 1^{er} Autor: *Marco Antonio, Hernández-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-5958-4456, **CVU CONACYT ID:** 947882

ID 1^{er} Coautor: *Walter Ariel, Silva-Martínez* / **ORC ID:** 0000-0002-9503-9922, **CVU CONACYT ID:** 392299

ID 2^{do} Coautor: *Cristóbal, Patiño-Carachure* / **ORC ID:** 0000-0002-5958-4456, **CVU CONACYT ID:** 947882

ID 3^{er} Coautor: *Leonardo, Palemon-Arcos* / **ORC ID:** 0000-0001-9743-0434, **CVU CONACYT ID:** 49334

DOI: 10.35429/H.2021.12.1.78.96

M, Hernández, S, Walter, P, Carachure y P. Leonardo

* mahernandez@pampano.unacar.mx

S. Figueroa, B. Pérez, J. Flores, L. Santis. (AA. VV.) Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Handbooks-©ECORFAN-México, Campeche, 2021.

Resumen

En el presente trabajo se presenta la construcción y los resultados de un sistema de adquisición de datos de temperatura del suelo a diferentes profundidades. Se han hecho investigaciones sobre el suelo para conocer sus características térmicas en diferentes ciudades de México, sin embargo, no se han hecho estas investigaciones en la zona de Ciudad del Carmen Campeche. Se utilizaron 7 sondas de temperatura Dallas ds18b20. Para la transmisión y recepción inalámbrica se utilizó el transceptor NRF24L01. El sistema de lectura de sensores-transmisión y el sistema de recepción-adquisición de datos fue implementado con el microcontrolador Atmega328p en una tarjeta de desarrollo de prototipos Arduino uno. El sistema de lectura y transmisión de datos fue del tipo autónomo alimentado por un panel solar de 12 voltios y 450 mah de tipo mono cristalino. Se utilizó una batería de plomo-ácido de 12 voltios. La adquisición de datos del receptor a una computadora personal fue a través del puerto USB, utilizando el software Processing, el cual almacena los datos cada hora en una hoja de cálculo. Los datos fueron procesados para su visualización y análisis con un script de matlab. Se registraron datos de temperaturas de 0 a 23 horas desde nivel del suelo hasta 2 metros de profundidad, los sensores se distribuyeron a 50 cm de distancia entre cada uno. Las mediciones se realizaron de agosto de 2020 a julio de 2021. Se encontró una diferencia máxima de 6 grados Celsius entre el nivel del suelo y la profundidad de 2 metros

Sensores de temperatura, Microcontroladores, Temperatura del suelo

Abstract

The present work presents the construction and results of a soil temperature data acquisition system at different depths. Investigations have been made to know the thermal characteristics of the soil in different cities of Mexico, however, these investigations have not been done in Ciudad del Carmen, in the Campeche area. Seven Dallas ds18b20 temperature probes were used. The NRF24L01 transceiver was used for wireless transmission and reception. The sensor reading-transmitting system and the receiving-data acquisition system were implemented with the Atmega328p microcontroller on an Arduino uno prototype development board. The data reading and transmission system was autonomous powered by a 12 volt 450 mah mono crystalline type solar panel. A 12-volt lead-acid battery was used. The acquisition of data from the receiver to a personal computer was through the USB port, using the Processing software, which stores the data every hour in a spreadsheet. The data was processed for visualization and analysis with a matlab script. Temperature data from 0 to 23 hours were recorded from ground level to 2 meters deep, the sensors were distributed 50 cm apart from each other. Measurements were made from August 2020 to July 2021. A maximum difference of 10 degrees Celsius was found between ground level and depth of 2 meters.

Temperature Sensors, Micorcontrollers, Soil Temperature

8.1 Introducción

La temperatura de suelo constituye en uno de los parámetros más relevantes en la estimación de diversas variables de interés ambiental, geológica o de eficiencia energética. Dentro del campo de la eficiencia energética se han desarrollado sistemas de acondicionamiento de aire como las bombas de calor de fuente terrestre. Las bombas de calor de fuente terrestre (GSHP, por sus siglas en inglés) son sistemas renovables y amigables con el medio ambiente que utilizan la energía subterránea superficial para lograr la calefacción y refrigeración de espacios con el fin de brindar comodidad térmica. El sistema funciona haciendo circular una solución a base de agua en circuitos de energía hechos de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE), para transferir energía térmica entre las superestructuras (edificios) y el suelo [Rao, 2019]. El diseño de un nuevo sistema de bomba de calor de fuente de tierra de circuito cerrado (GSHP) requiere que se tengan en cuenta tres aspectos relevantes, que incluyen: (1) clima y ubicación del edificio, (2) características del edificio, como el uso del edificio, tamaño y nivel de aislamiento, y (3) condiciones del suelo, incluido el perfil de temperatura del suelo.

El uso de sensores de circuitos integrados sensores de temperatura es de uso común actualmente, se han utilizado principalmente para aplicaciones de agricultura y medición ambiental [Cuihong, 2011].

En este proyecto se toman las bases de estudios anteriores de los investigadores para buscar el gradiente de temperatura adecuada a mayor profundidad del suelo que pudiera ser 18 a 20°C, tomando en cuenta sus recomendaciones.

En el presente trabajo se diseñó un sistema de sensores de temperatura del suelo para estudiar las condiciones del suelo. Los avances en telecomunicaciones están permitiendo una transmisión más rápida y fácil de datos detectados en todo el mundo. Los sensores de suelo se han vuelto más pequeños, más resistentes, más rápidos, más precisos, más eficientes en energía, inalámbricos y más inteligentes [Viscarra, 2010]. Pueden ser dispositivos de mano individuales o montados en vehículos para dispositivos móviles [Adamchuck, 2004], también pueden ser de operación autónoma usando energía solar [Manderson, 2013].

El sistema de medición presentado en el actual trabajo será de tipo autónomo y alimentado por energía solar, los datos serán transmitidos inalámbricamente a una estación conectada a un PC, los datos serán registrados en una hoja de cálculo, almacenando magnitudes y la fecha y hora de adquisición

En la sección titulada: Materiales y Métodos se describe la metodología usada para construir las partes del sistema de adquisición de temperatura y los programas de computadora usados para recibir la información y almacenarla.

En la sección titulada: Procesamiento de Datos: se describe la manera en la que los datos de los sensores fueron agrupados y procesados para representarse visualmente.

En la sección titulada: Resultados se presentan las graficas de temperaturas en los siete sensores a diferentes profundidades agrupadas por mes desde agosto de 2020 hasta julio de 2021.

En la sección titulada Conclusiones: se plasman las conclusiones obtenidas de los resultados del presente trabajo

En la sección titulada Referencias: se describe las fuentes consultadas para documentar el presente trabajo.

8.2 Materiales y Métodos

El sistema está formado por:

- Arreglo de sensores de temperatura.
- Tarjeta de lectura de sensores y envío de datos
- Tarjeta de recepción de datos y adquisición.
- Componente fotovoltaico para alimentar la Tarjeta de lectura de sensores y envío de datos
- Computadora personal para almacenar datos en una hoja de cálculo electrónica.

Arreglo de los sensores de temperatura.

Se construyó un arreglo de 7 sensores de temperatura Dallas DS18B20 conectados a 50 cm de distancia entre sí. El DS18B20 es un sensor de temperatura en el cual se lleva la conversión analógica a digital dentro del encapsulado, facilitando el resultado de dicha conversión a través de una interfaz digital llamada: un hilo (1-wire en inglés). El DS18B20 tiene en un rango de -55 °C a 125 °C. El error del sensor es diferente según la temperatura a la que está operando. Para temperaturas entre -10°C y 85°C existe un error de ± 0.5 °C. Para el resto de las temperaturas entre -55 °C y 125 °C el error es de ± 2 °C. El sensor de temperatura DS18B20 se puede encontrar en diversas formas, entre las cuales se destacan 2 que son bastante comunes:

- El encapsulado TO-92 (usado comúnmente en transistores).
- El sensor tipo sumergible, que es fabricado por terceros utilizando sensores en encapsulado TO-92 colocados dentro de una cubierta impermeable de acero inoxidable.

En el presente trabajo se utilizó el tipo sumergible que se muestra en la figura 8.1.

Figura 8.1 Sensor de temperatura Dallas DS18B20



Fuente: Elaboración propia

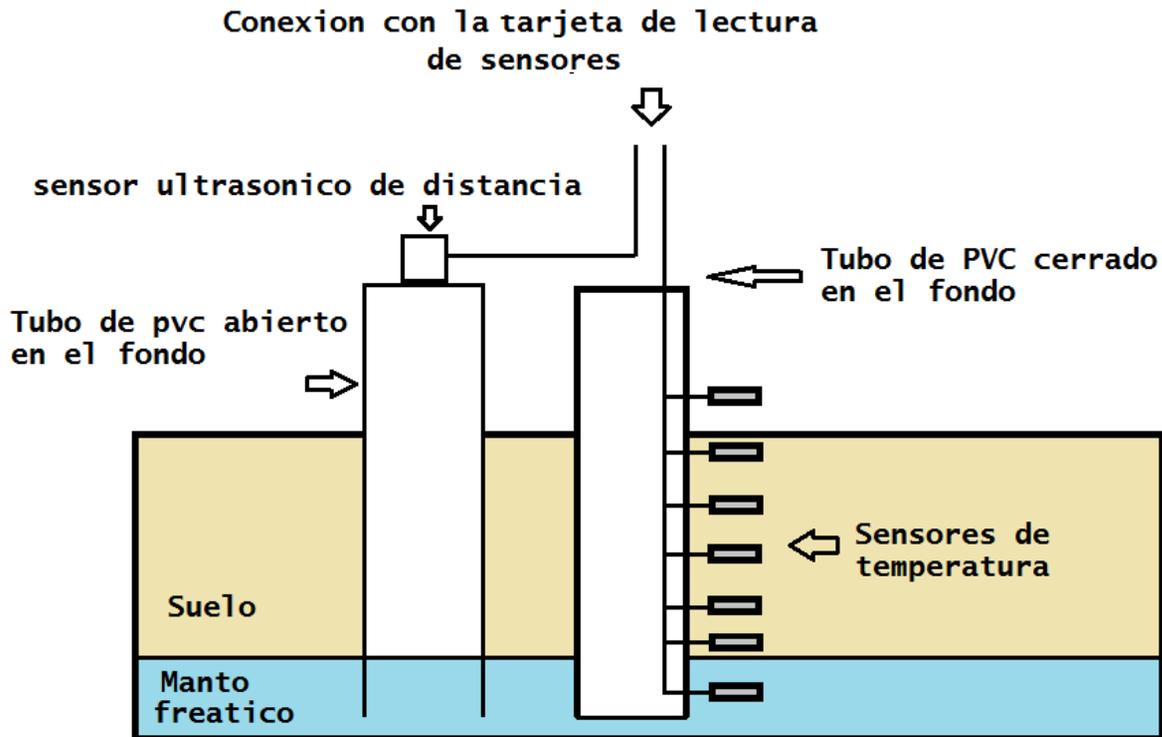
Se utilizaron 4 secciones de tubo de policloruro de vinilo (Polyvinyl chloride, pvc por sus siglas en ingles) de 2 pulgadas para interconectar los sensores de temperatura, el tubo se enterró a dos metros de profundidad en el suelo, dejando 1 metro sobresaliendo, como se puede ver en la figura 8.2 y 8.3.

Figura 8.2 Arreglo de sensores



Fuente: Elaboración propia

Figura 8.3 Diagrama a bloques del arreglo de sensores



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8.2 se puede observar el arreglo físico de los sensores. Por otro lado, en la figura 3 se puede observar el diagrama de bloques del arreglo de sensores.

Tarjeta de lectura de sensores y envío de datos

Se construyó una tarjeta de circuito impreso para interconectar los sensores con la tarjeta de desarrollo de prototipos Arduino y con el tranceptor NRF24I01 (ver figura 4). Los datos de los sensores de temperatura son interrogados por la tarjeta Arduino a través del protocolo 1-wire, el cual le asigna a cada uno de los sensores una dirección hexadecimal única, la información viaja multiplexada a través de un bus de un solo hilo y se conecta al pin 7 de Arduino. La información del sensor de distancia ultrasónico es leída por el Arduino y convertida a centímetros, la cual es la distancia entre el nivel de agua freático y la superficie del suelo a estudiar. La información de todos los sensores se envía a través del tranceptor inalámbrico NRF24L01

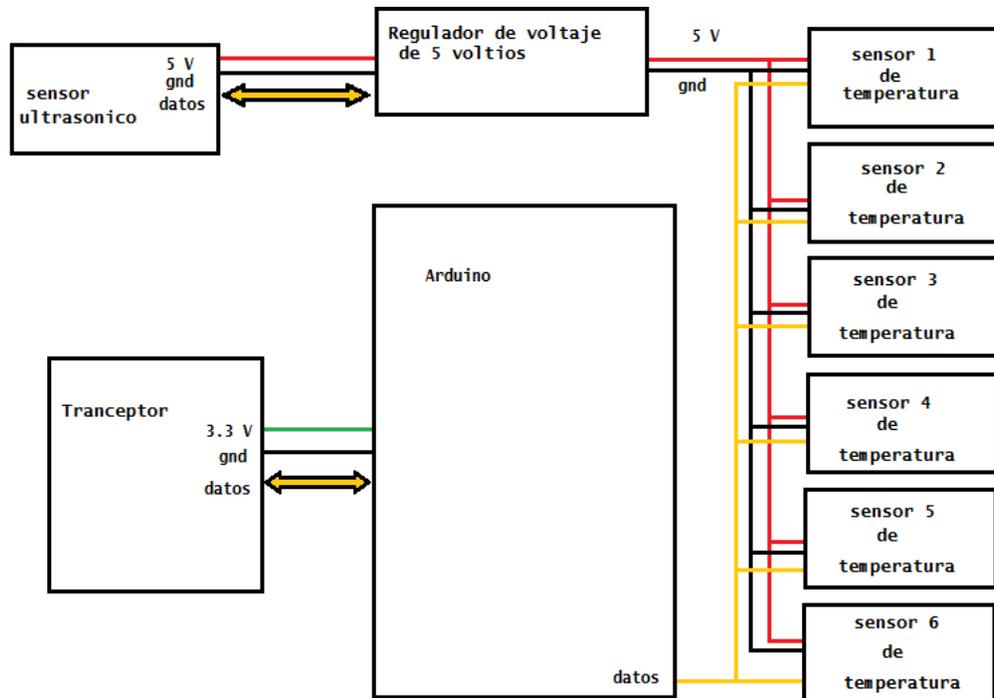
Figura 8.4 Tarjeta de lectura de sensores y envío de datos



Fuente: Elaboración propia

El transceptor NRF24L01 utiliza la banda de 2,4 GHz y puede operar con velocidades de transmisión de 250 kbps hasta 2 Mbps. Si se usa en espacios abiertos y, con menor velocidad de transmisión, su alcance puede llegar hasta los 100 metros. Para mayores distancias, hasta 1,000 metros, existen módulos provistos con una antena externa en lugar de una antena trazada sobre la misma placa, como se observa en la figura 4. El consumo de este módulo es de alrededor de 12 mA durante la transmisión, un valor menor al de un LED encendido. El voltaje de operación del módulo es de 1,9 a 3,6V, los demás pines toleran la lógica de 5V, por lo que podemos conectarlo sin problemas a un Arduino sin necesidad de un convertidor de niveles lógicos. El diagrama a bloques de la tarjeta de lectura de sensores y envío de datos se puede observar en la figura 8.5.

Figura 8.5 Diagrama a bloques de la tarjeta de lectura de sensores y envío de datos

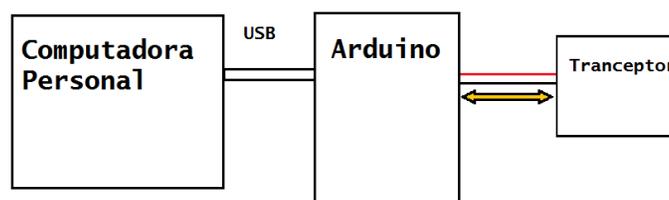


Fuente: Elaboración propia

Tarjeta de recepción de datos y adquisición

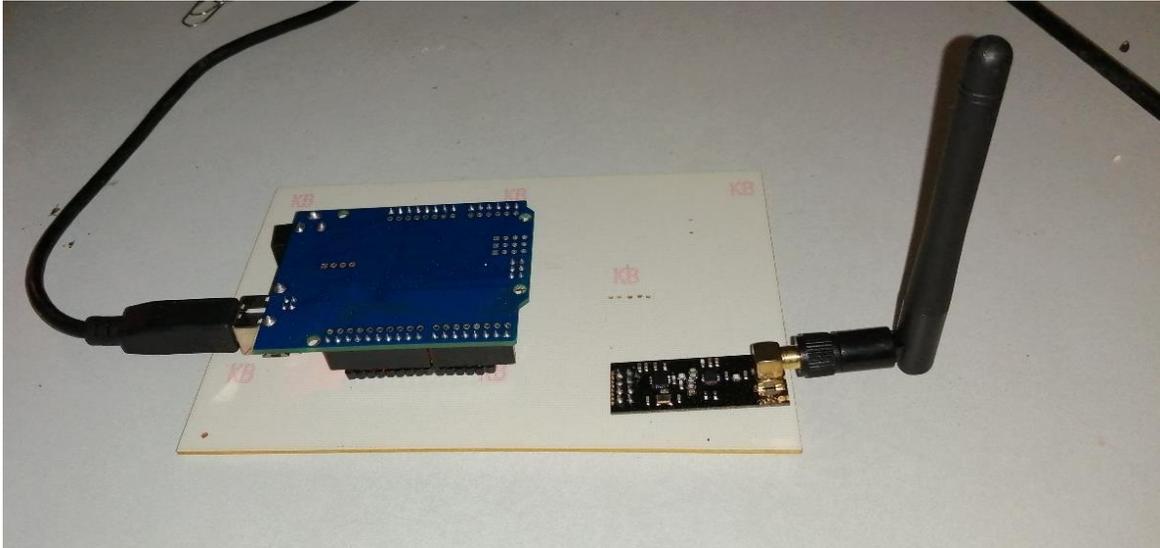
Se construyó una tarjeta de circuito impreso para interconectar la tarjeta Arduino con el transceptor inalámbrico y la computadora personal como se puede ver en las figuras 8.6 y 8.7. El transceptor inalámbrico NRF24L01 recibe los datos de la tarjeta de lectura de sensores, posteriormente los datos son enviados a la tarjeta Arduino y esta los envía por el protocolo serial USB hacia la computadora personal. La conexión USB además de servir de comunicación de datos, también se utiliza para alimentar la tarjeta de recepción de datos y adquisición con 5 voltios. El tamaño de la tarjeta es de 10 cm de largo por 15 cm de ancho.

Figura 8.6 Diagrama de la tarjeta de adquisición de datos



Fuente: Elaboración propia

Figura 8.7 Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: Elaboración propia

Alimentación de la tarjeta de lectura de sensores y envío de datos.

La Tarjeta de lectura de sensores y envío de datos se alimenta con los siguientes componentes.

- Panel solar fotovoltaico.
- Controlador de carga solar.
- Batería de plomo ácido de 12 voltios.

Los paneles fotovoltaicos o placas fotovoltaicas están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el cual la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste. Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme, como se puede ver en la figura 8.8.

Figura 8.8 Panel solar fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia

Un regulador de carga solar se coloca entre el panel fotovoltaico y el banco de baterías y básicamente se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos equipos (ver la figura 8.9). El control del flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de Intensidad (I) y Voltaje (V) al que se inyecta en la batería. Este flujo de energía depende del estado de carga de las baterías y de la energía generada por el campo fotovoltaico. El regulador de carga solar controla constantemente el estado de carga de las baterías para hacer el llenado óptimo y así alargar su vida útil.

El acumulador de plomo, también denominada de ácido-plomo es un tipo de batería muy común en vehículos convencionales, para arranque, aunque también se utilizan como fuente de energía de tracción de vehículos eléctricos. Suele proporcionar una tensión de 6 V, 12 V u otro múltiplo de 2, ya que la tensión que suministra cada celda es de 2 V. Pueden suministrar unas intensidades de corriente relativamente grandes, lo que las hacen ideales para los motores de arranque. Aunque su utilización y forma más conocida es la batería de automóvil, este acumulador tiene muchas aplicaciones. La batería usada en el presente trabajo es de 12 voltios y 4 ah.

El componente interconectado para la alimentación proporciona voltaje continuo de 12 voltios procedente de una batería de electrolito de plomo-acido de 12 voltios 4 ah, esta batería es cargada por un panel solar de 12 voltios 400 mah, la carga está controlada por un circuito de modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation, PWM, por sus siglas en inglés) comercial de carga de baterías con paneles solares. Un bosquejo del sistema de alimentación es mostrado en la figura 8.9.

Figura 8.9 Sistema de carga solar



Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento de los datos en una hoja de cálculo electrónica

Se utilizó una computadora personal con sistema operativo Windows 10 de 32 bit. El procesador es el Intel Core I3 de 3.3 GHz. Se utilizó el IDE Processing [Processing, 2020] (ver la figura 12) para ejecutar un programa que lee la información del puerto serial USB para posteriormente guardarlo en una hoja de cálculo de Excel de Microsoft office 2007 [Microsoft, 2020]. Se utilizó Processing para el algoritmo de recepción de datos.

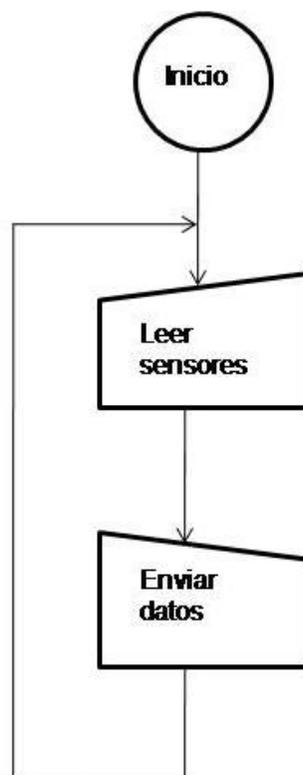
Se implementaron tres algoritmos para el sistema:

- Algoritmo de lectura de sensores y envío de datos.
- Algoritmo de recepción de datos y envío a la computadora personal.
- Algoritmo de recepción de datos y guardado de información en hoja de cálculo.

El algoritmo de lectura de sensores y envío de datos interroga a los sensores y la información es enviada inalámbricamente a la siguiente etapa, se repite indefinidamente, como se observa en el diagrama de flujo de la figura 8.11.

El Algoritmo de recepción de datos y envío a la computadora personal, recibe datos del transceptor inalámbrico, posteriormente los envía por el puerto USB hacia la computadora personal, se repite indefinidamente, como se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 8.14.

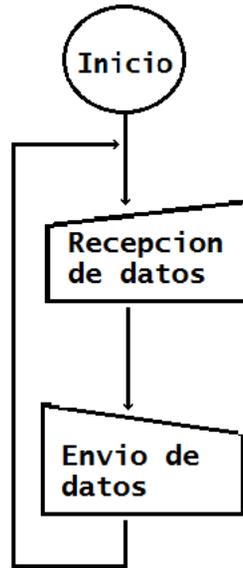
Figura 8.10 Algoritmo de recepción de datos y envío a la computadora personal



Fuente: Elaboración propia

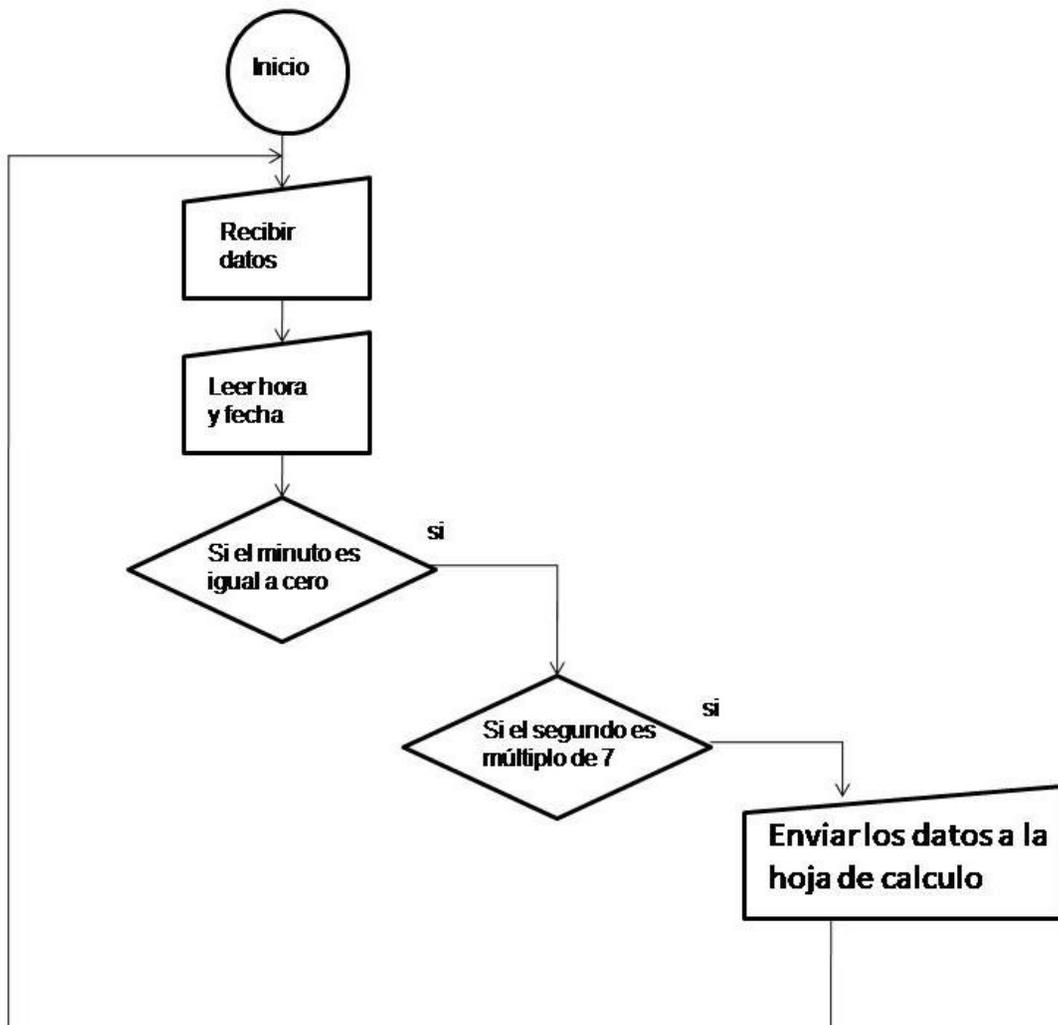
El diagrama de flujo de la figura 8.15, muestra el comportamiento del algoritmo de recepción de datos, en el cual se guarda la información en una hoja de cálculo y los datos son recibidos a través del puerto USB. Después, pregunta la hora y fecha de la computadora personal. Posteriormente, compara si es la hora en punto, de ser así pregunta si el segundo es múltiplo de 7, de esa manera toma cada hora 7 mediciones de los 7 sensores de temperatura. Los datos obtenidos por el sensor de distancia son enviados hacia la hoja de cálculo con el dato de fecha y hora. La razón por la cual se tomaron 7 datos cada hora fue para hacer un promedio para minimizar errores de medición.

Figura 8.11 El Algoritmo de recepción de datos



Fuente: Elaboración propia

Figura 8.12 El Algoritmo de recepción de datos



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones de la sección 2

En esta sección se presento los materiales y métodos utilizados para construir los sistemas de adquisición de temperatura a diferentes profundidades, se utilizo hardware y software de código abierto, por lo cual la implementación fue rápida y sencilla. El costo fue menor a los equipos con hardware y software propietario. Aunque el sistema de sensores funciona adecuadamente todo el año debido a la energía solar y la batería de respaldo, el sistema que lo recibe y almacena si depende de la energía del sistema conectado de electricidad residencial, por lo cual lo vuelve vulnerable a fallas de energía.

8.3 Procesamiento de Datos

En la presente sección se presenta la metodología en la que la información de los siete sensores de temperatura fue agrupada y presentada de manera grafica. Cada sensor registraba la temperatura cada hora del día, las 24 horas del mes, se obtuvo la media aritmética de las temperaturas de cada sensor a una hora específica, por lo tanto, se obtuvo la temperatura promedio de cada hora desde las 00:00 horas hasta las 23:00. Por la cantidad de datos obtenidos fue necesario automatizar el procesamiento de la información utilizando un script de Matlab que extrajera los datos de una hoja de cálculo y los convierte en una matriz, posteriormente se ejecuta una subrutina que extrae los datos de temperaturas de una sola hora en específico y se procede a sacar su media, el script realiza la tarea para las 24 horas de un sensor y para cada uno de los señores, por tanto se obtiene una gráfica con las temperaturas media por hora de cada uno de los meses que duro el estudio.

Conclusiones de la sección 3

En esta sección se presentó una descripción de cómo lo resultados obtenidos fueron procesados para presentarse de manera grafica. La información faltante debido a fallas de energía se obtuvo usando un algoritmo de interpolación polinomial de grado 5. El algoritmo fue desarrollado en un script de matlab para obtener una estimación de los datos faltantes.

8.4 Resultados

En la presente sección se presentan los resultados del desempeño del sistema, así como las mediciones del mismo y el procesamiento de datos descrito en la sección anterior. En cuanto al desempeño del sistema de alimentación fotovoltaico se midió un voltaje de 13.5 voltios durante el día que fue suministrado por el controlador de carga y de 12.5 voltios durante la noche suministrado por la batería.

El alcance de transmisión recepción fue de 30 metros con obstáculos como paredes. Posteriormente el equipo se instaló en su posición definitiva y se realizaron las mediciones de temperatura que se muestran en la figura 8.13. La interface muestra en tiempo real la temperatura de cada sensor, la hora y la fecha en que se realizo cada medición. Con estos datos se pudo comprobar que el sistema funcionaba adecuadamente y podía monitorear la temperatura autónomamente durante los 12 meses del estudio.

Figura 8.13 Interface de Processing con los datos recibidos

```

1  import processing.serial.*;
2  int c = 0;
3  Serial mySerial;
4  // serial port
5  // style line containing acc. values as a CSV row string
6  String values;
7  // the output
8  PrintWriter output;
9
10 void setup() {
11   size(640,160); // creamos la ventana de 650x200
12   textSize(30); // definimos el tamaño de la letra
13   output = createWriter("Datos/as.csv");
14   try {
15     mySerial = new Serial(this, Serial.list()[1], 9600);
16     mySerial.bufferOut(1024);
17   } catch (Exception e) {
18     println("Error abriendo el puerto: revise el cable USB, o...");
19     e.printStackTrace();
20   }
21 }
22
23 void draw() {
24
25   background(0);
26   int y = year(); // Valores de 2015, 2014, etc
27   int mes = month(); // Valores de 1 a 12
28   int d = day(); // Valores de 1 a 31
29   int h = hour(); // Valores de 0 a 23

```

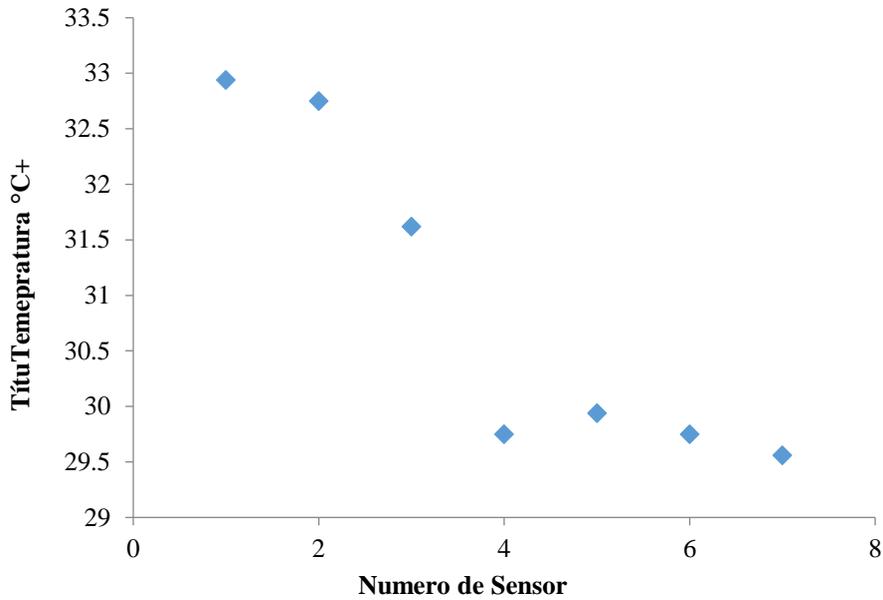
test

Temperatura 1: = 32.94 C°
 Temperatura 2: = 32.75 C°
 Temperatura 3: = 31.62 C°
 Temperatura 4: = 29.75 C°
 Temperatura 5: = 29.94 C°
 Temperatura 6: = 29.75 C°
 Temperatura 7: = 29.56 C°
 El nivel es: 40 cm
 La hora es: 17:25
 La fecha es: 20/06/20

Fuente: Elaboración propia

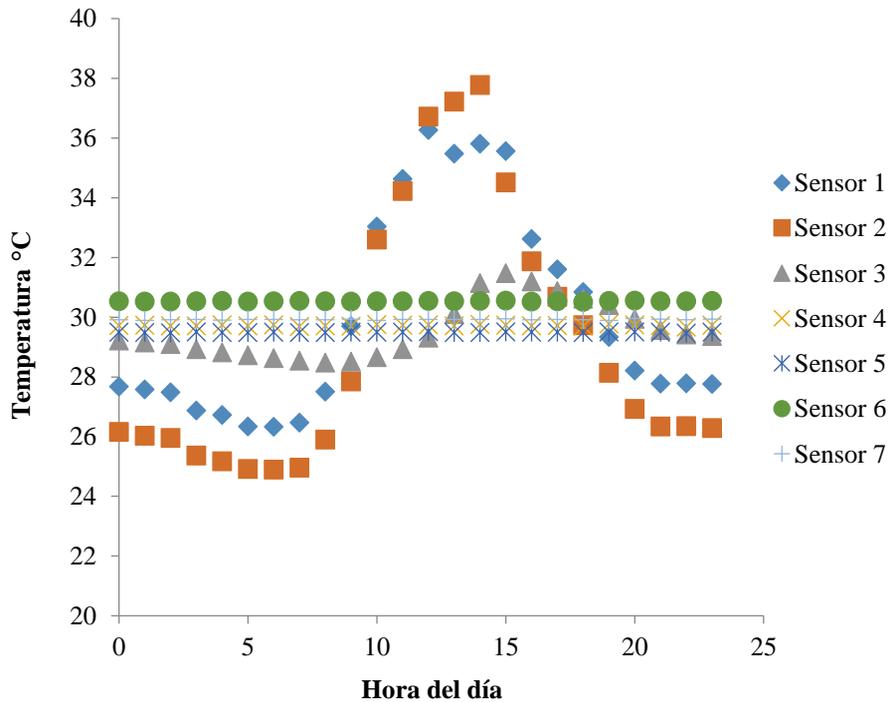
En el Gráfico 8.1 se puede observar las temperaturas medidas por los 7 sensores, los cuales están espaciados 50 cm de distancia entre sí. Se observa que la temperatura del sensor que se encuentra a 2 metros de profundidad (sensor 7) fue de 29.56 °C y la profundidad del sensor que se encuentra a 1 metro sobre el nivel del terreno (sensor 1) fue de 32.94 °C, la cual corresponde a la temperatura del ambiente.

Gráfico 8.1 Grafica de la temperatura de los sensores



Fuente: Elaboración propia

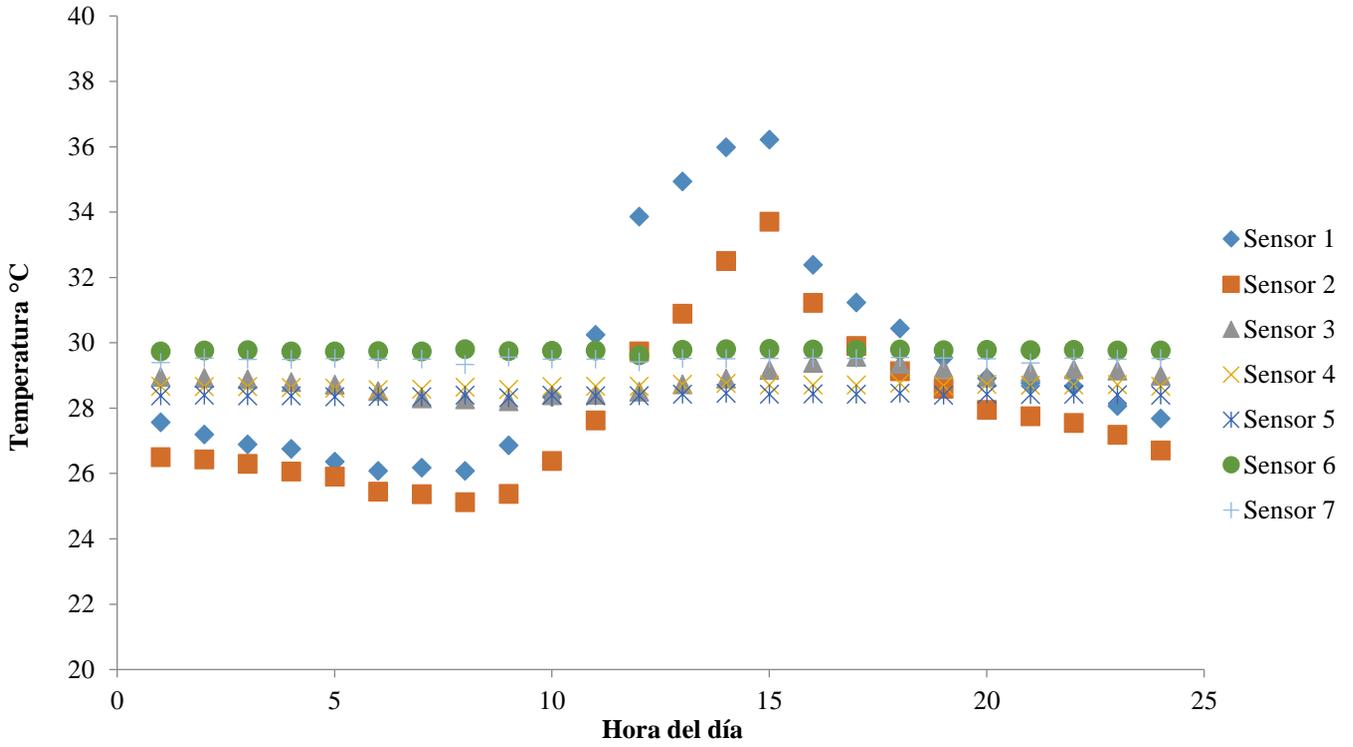
Gráfico 8.2 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de agosto



Fuente: Elaboración propia

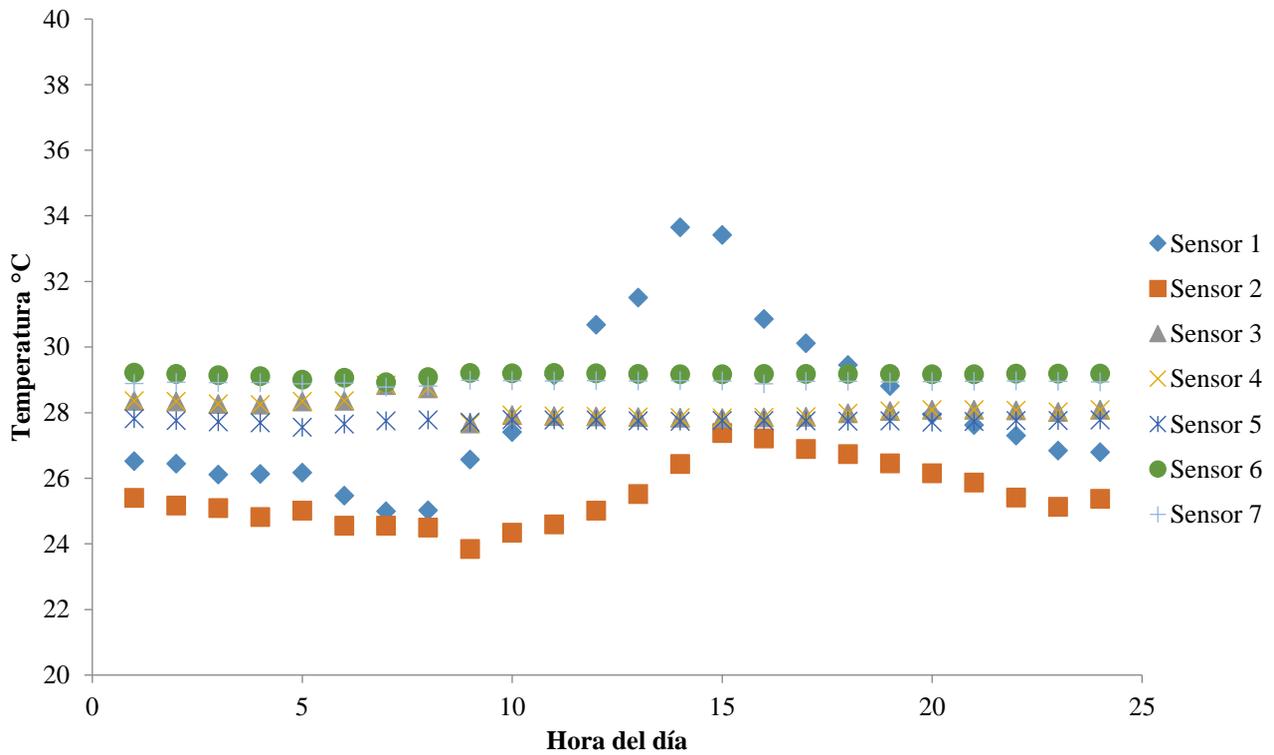
En los Gráficos 8.2 y hasta el Gráfico 8.3 se aprecian los gráficos de las temperaturas media de cada hora del día desde el mes de en el mes de agosto de 2020 hasta julio de 2021.

Gráfico 8.3 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de septiembre



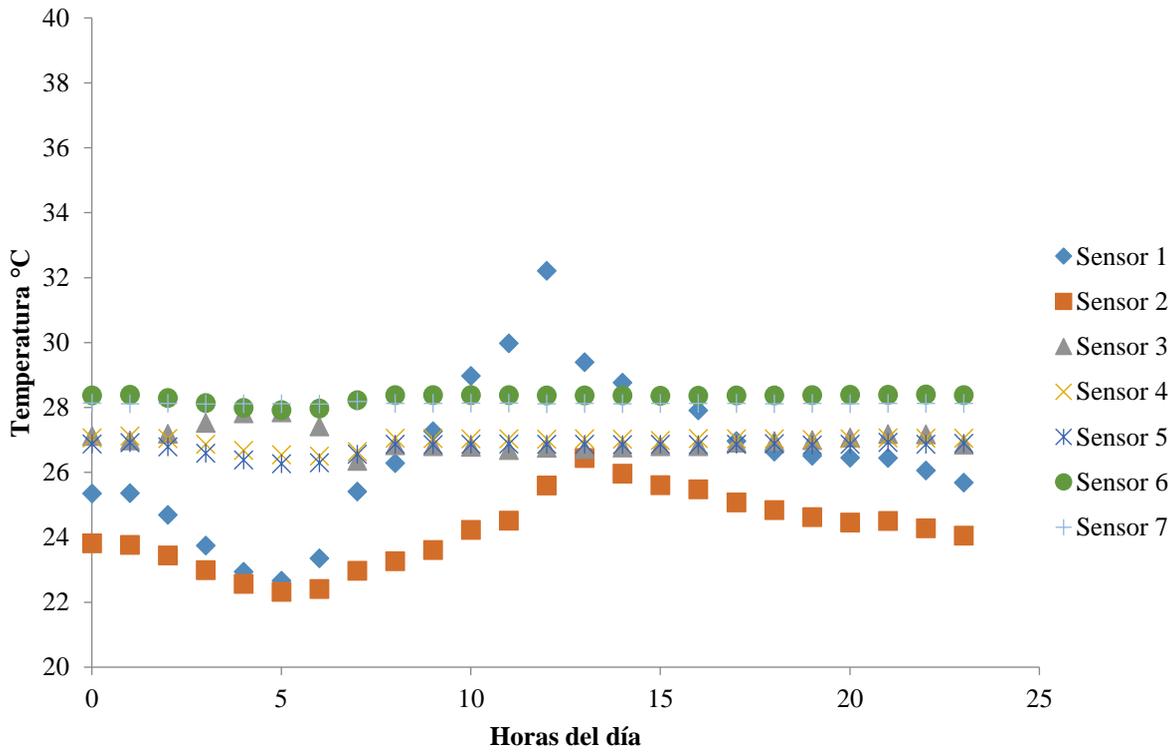
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.4 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de octubre



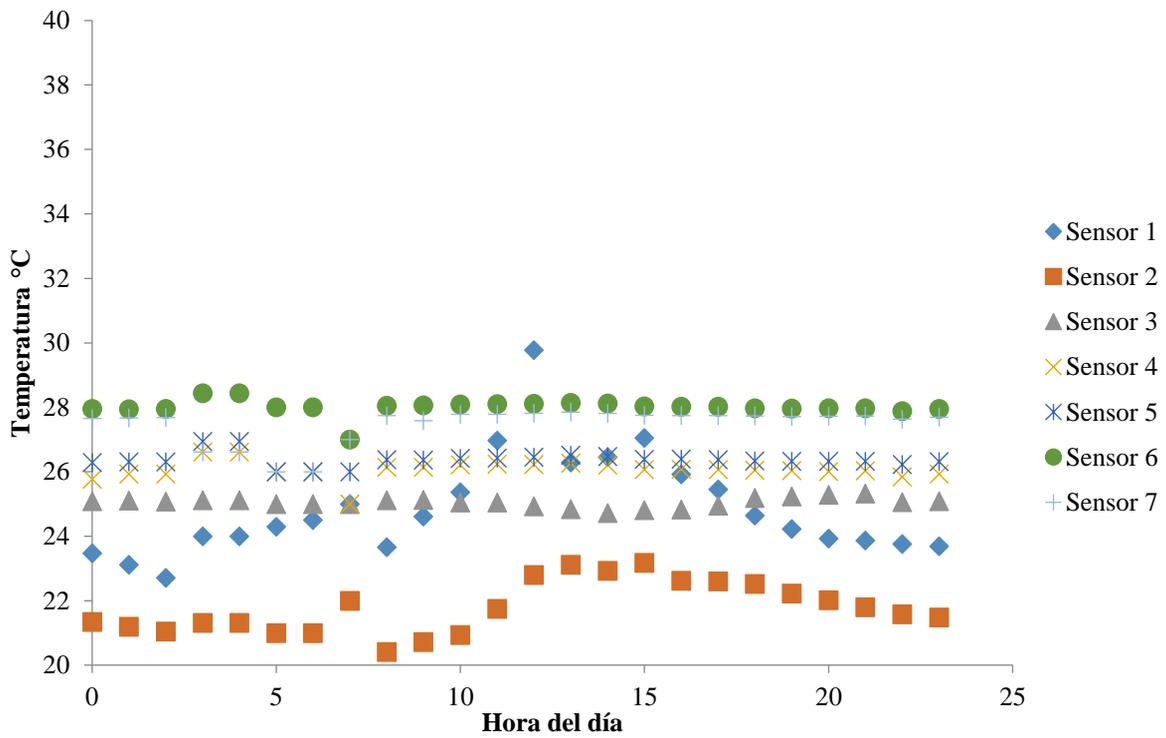
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.5 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de noviembre



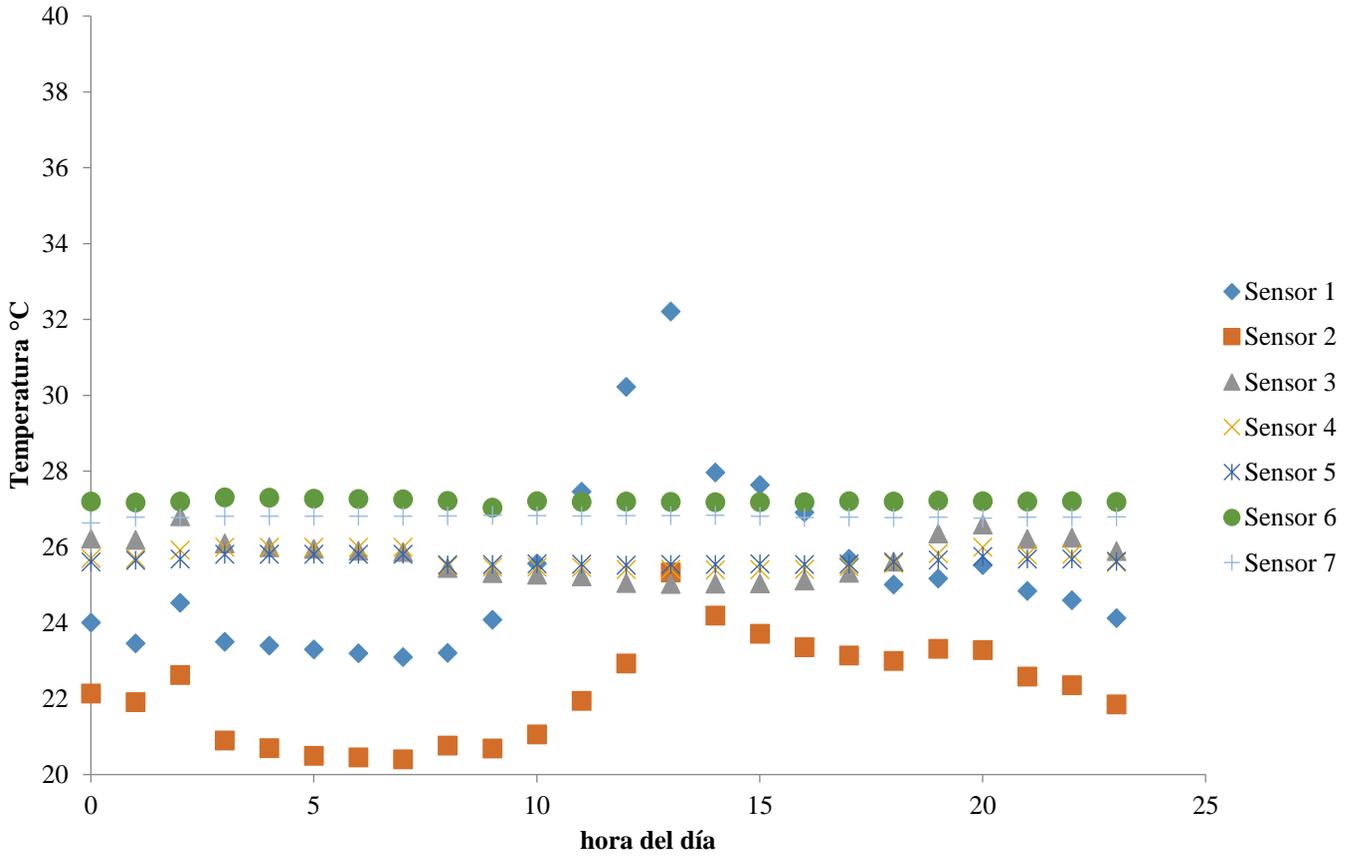
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.6 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de diciembre



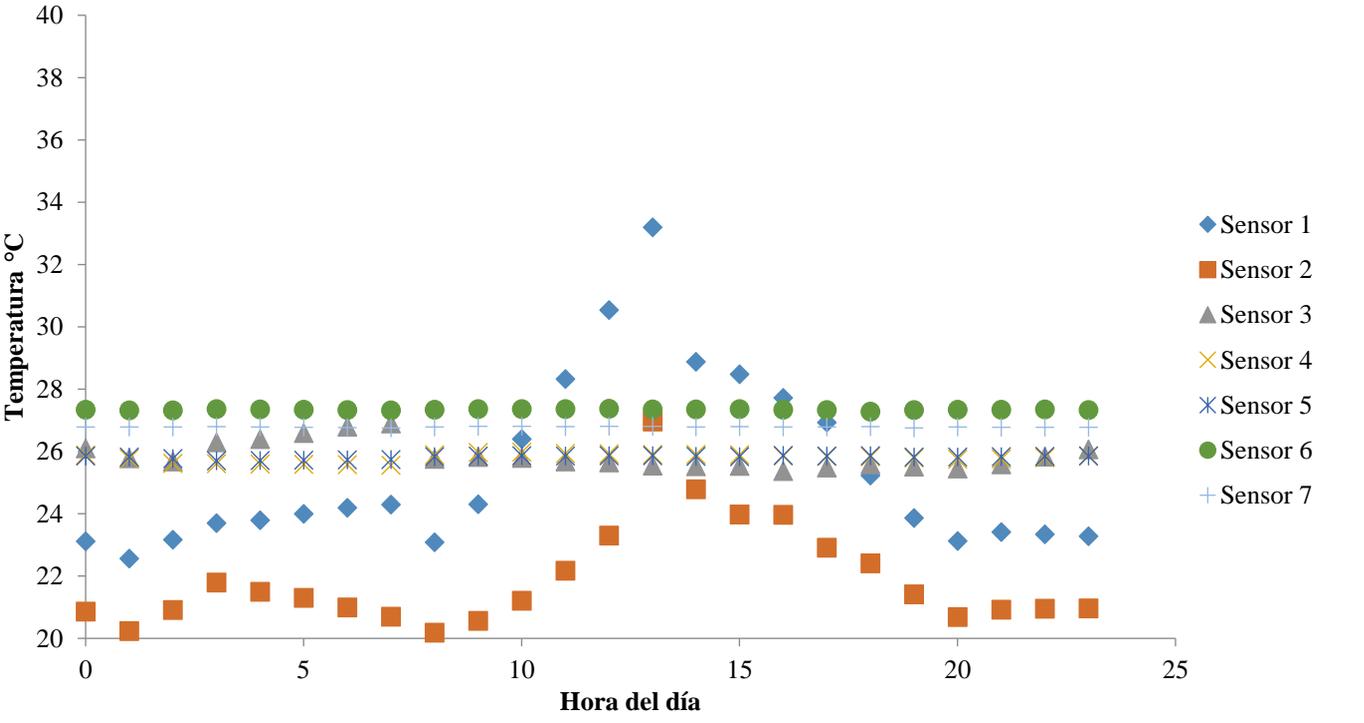
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.7 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de enero



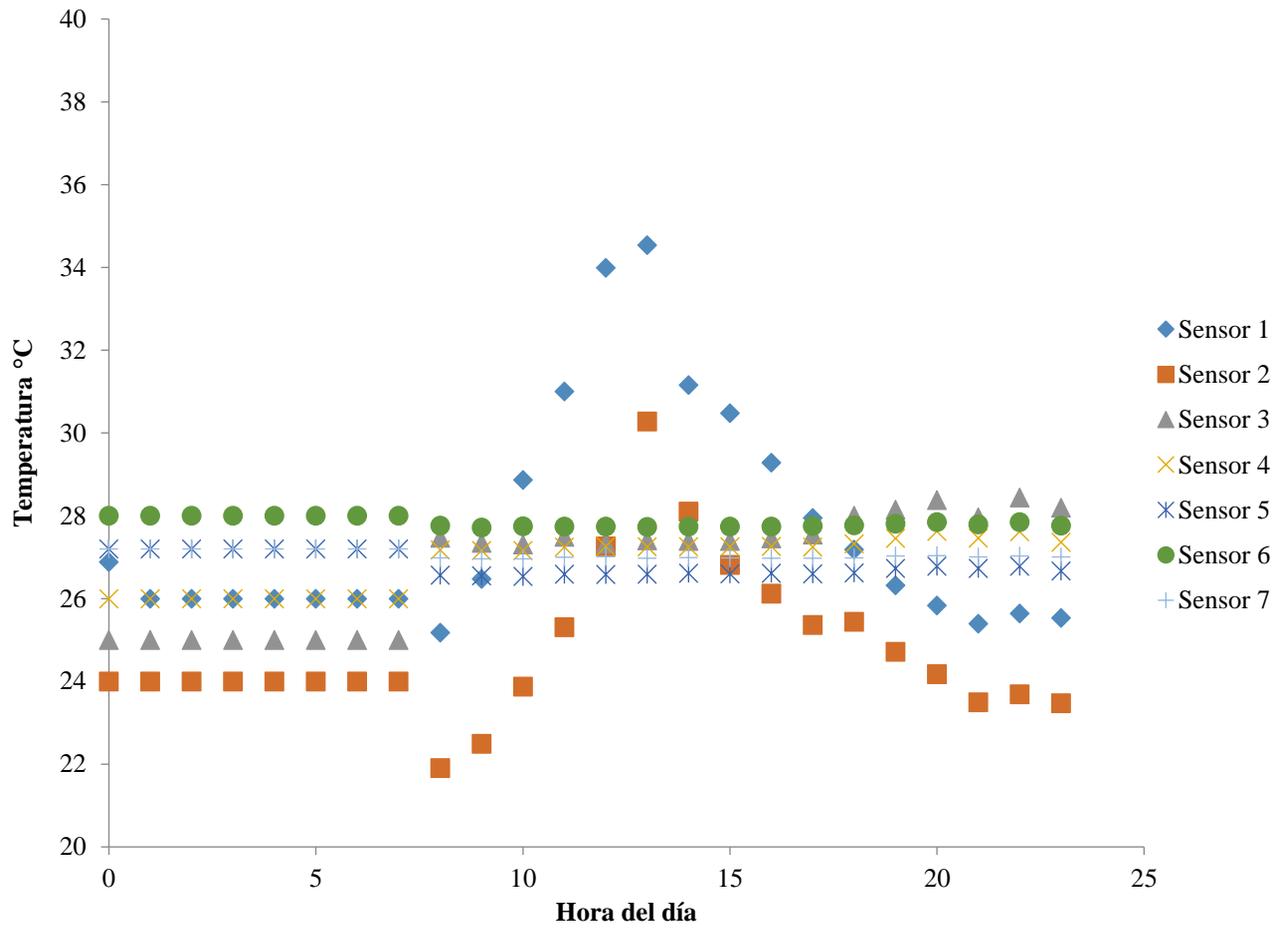
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.8 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de Febrero



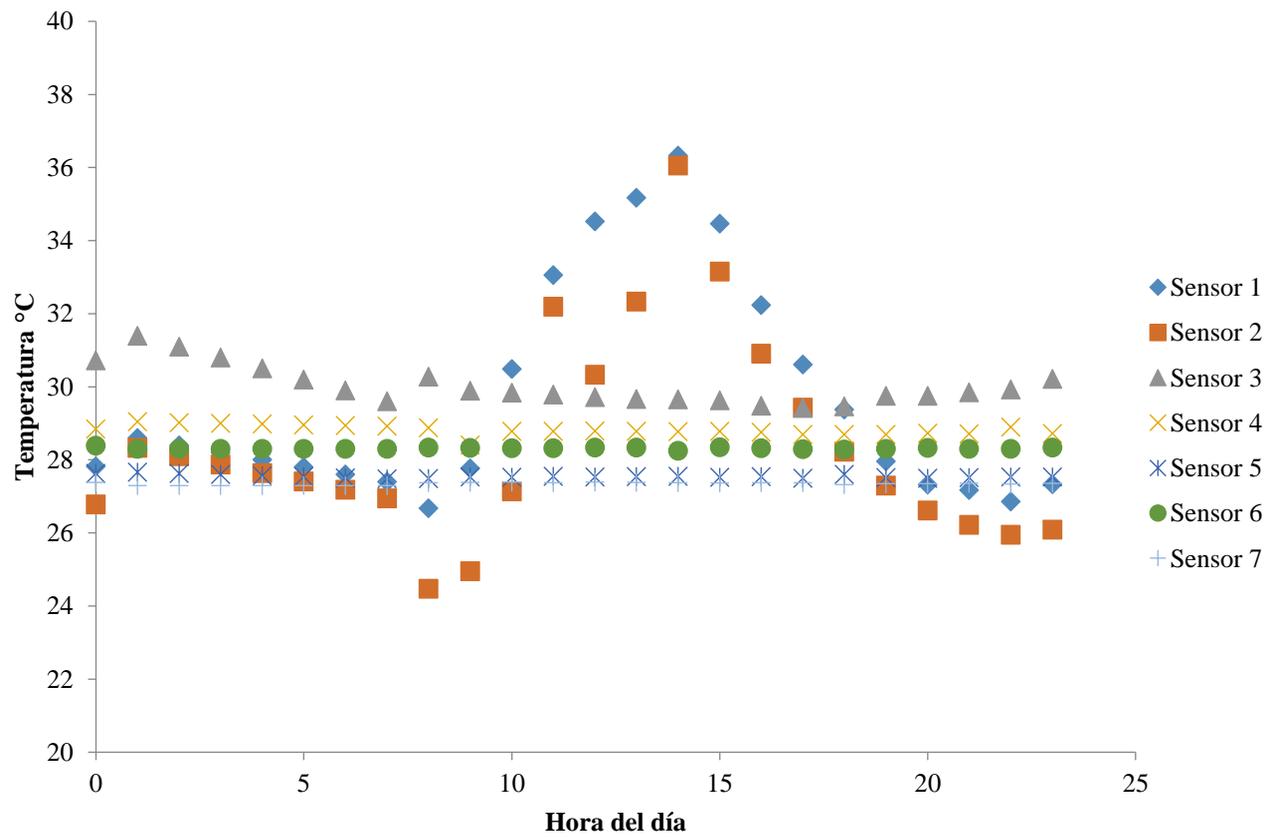
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.9 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de marzo



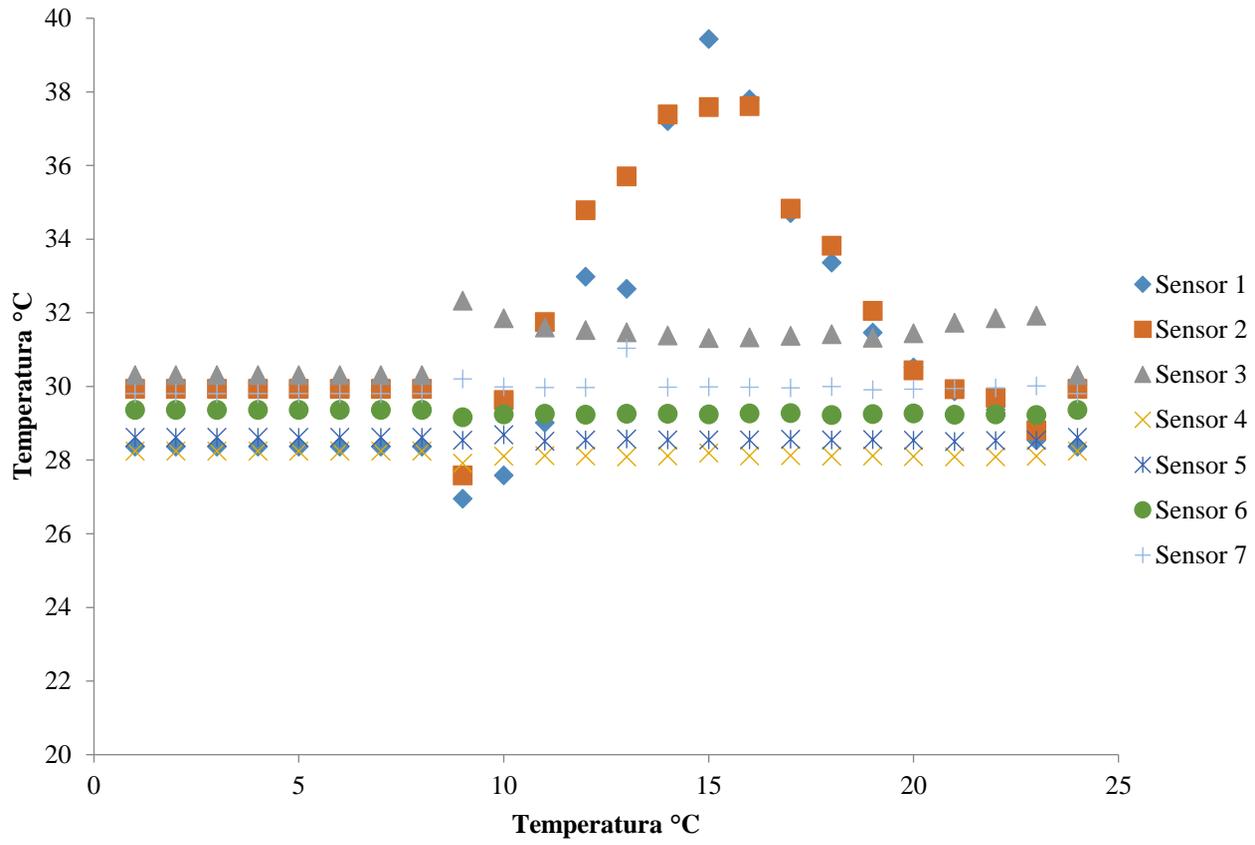
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.10 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de abril.



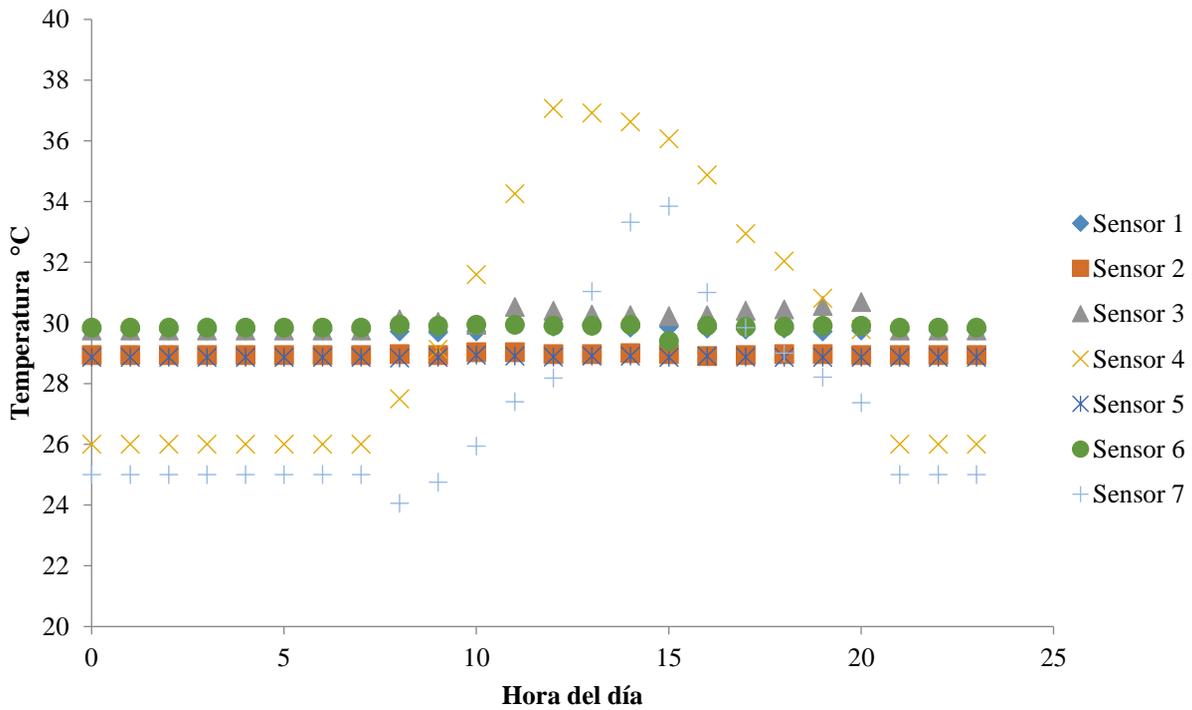
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.11 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de mayo

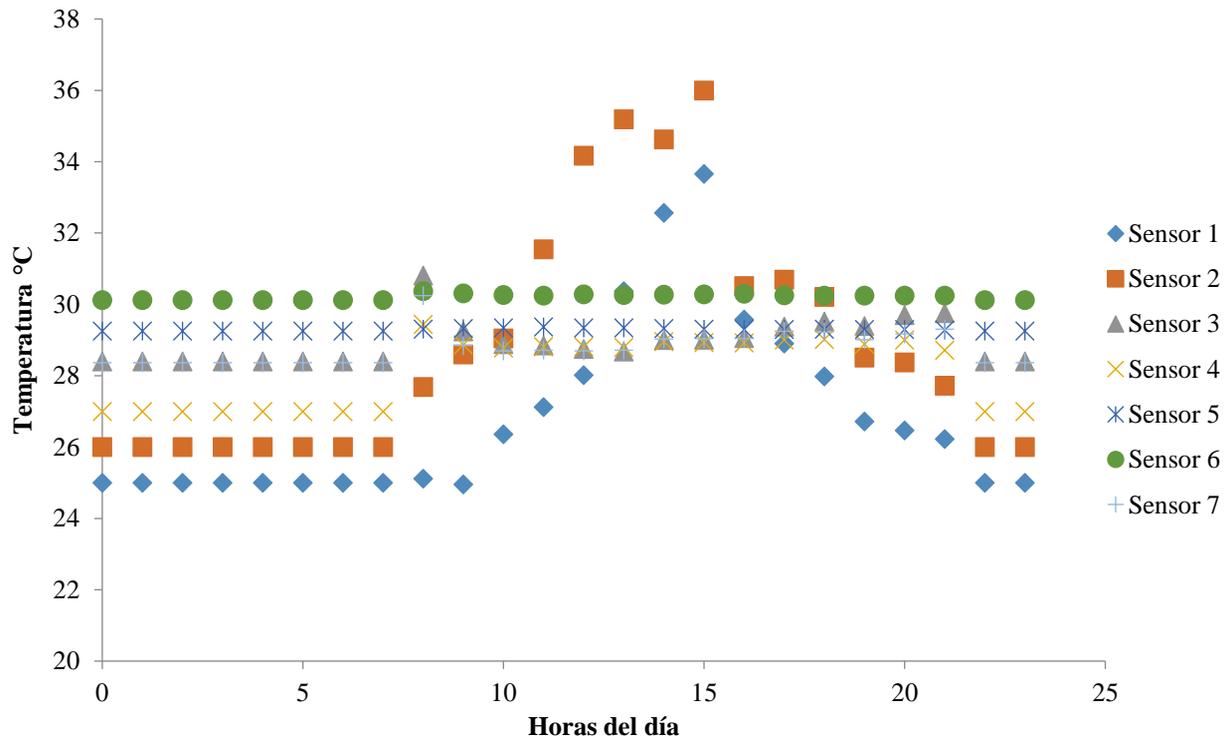


Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.12 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de junio



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8.13 Grafica de la temperatura de los 7 sensores en el mes de julio

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones de la sección 4

Los datos muestran una temperatura constante en la máxima profundidad de 2 metros de 30 ° C, la temperatura en la superficie y a 50 cm de profundidad varía dependiendo de la hora del día, sin embargo mantiene la misma tendencia a lo largo del año, alcanzando temperaturas máximas en el mes de Mayo, las temperaturas mínimas se obtuvieron en diciembre con 30°C para la superficie. La máxima diferencia de temperaturas encontrada fue de 10 grados.

8.5 Conclusiones

El sistema de lectura de sensores de temperatura y de nivel freático funcionó como estaba planeado. El consumo del sistema es más elevado de lo necesario, debido a que se usó una placa de desarrollo Arduino UNO, en el mercado existen alternativas con la misma facilidad de implementación, pero con consumos eléctricos más bajos, lo cual será tomado en cuenta para posteriores trabajos. El sistema de recepción y adquisición funcionó bien, la interfaz en Processing fue fácil y rápida de implementar.

Para la aplicación en bombas de calor de fuente terrestre se determinó que en algunos meses del año la diferencia de temperatura entre la superficie y la profundidad donde se colocaría un intercambiador de calor es de 10 grados y la mínima es de 2 grados, también pero solo durante el período de máxima radiación solar entre las 10 de la mañana y las 5 de la tarde, por lo tanto un trabajo a futuro será determinar si es viable implementar el sistema en la localidad estudiada. Otro trabajo a futuro será determinar la altura del terreno donde se implementaron las mediciones para poder caracterizar mejor los resultados obtenidos. Estos trabajos futuros serán posibles gracias a que se construyó un sistema funcional, de bajo mantenimiento con software y hardware de código abierto y reutilizable para otra locación.

8.6 Referencias

Adamchuk. V., Upadhyaya. S. (2004).). Comput. Electron. Agric., 44 (1) (pp. 71-91

Cui, L, Benhua Z. Changyi L. (2011). The application of soil temperature measurement by LM35 temperature sensors, Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology.

Díaz, H., Heidi P., Aguilar. K., Macías M., Edgar V., Serrano A. (2017).Diseño de un intercambiador de calor tierra-aire en clima cálido-húmedo. Revista del Desarrollo Tecnológico. 1(2) pp. 44-51.

Manderson. A., Hunt L., (2013). Accurate and Efficient Use of Nutrients on Farms. Occasional Report No. 26, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand p. 14.

Rao M., Abubakar K., Tony A., (2019) An overview of ground-source heat pump technology, Managing Global Warming An Interface of Technology and Human Issues; Academic Press, pp. 455-485.

Viscarra R., McBratney. A., B. (2010). Proximal Soil Sensing. Progress in Soil Science, Springer, Netherlands