

## Generación de mapas climatológicos mediante el desarrollo de una estación meteorológica automática móvil

### Generation of climatological maps through the development of a mobile automatic weather station

ROMERO-RODRÍGUEZ, Gabriel†\*, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, FLORES-RAMÍREZ, Óscar y APAN-ARAUJO, Karla Cecilia

*Universidad Politécnica de Amozoc*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Gabriel, Romero-Rodríguez* / ORC ID: 0000-0002-5124-3016, Researcher ID Thomson: Y-2756-2018, CVU CONACYT ID: 299737

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Erick Eduardo, Huesca-Lazcano* / ORC ID: 0000-0002-0505-8442, Researcher ID Thomson: F-1162-2018, arXiv Author ID: 429567-444L3Z-UIWFRF, Open ID: 357590366000, CVU CONACYT ID: 223342

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Óscar, Flores-Ramírez* / ORC ID: 0000-0001-9884-9499, Researcher ID Thomson: E-8242-2018, CVU CONACYT ID: 92914

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Karla Cecilia, Apan-Araujo* / ORC ID: 0000-0003-3373-226X, Researcher ID Thomson: E-8338-2018, CVU CONACYT ID: 896703

DOI: 10.35429/JOCT.2020.14.4.1.10

Recibido 15 de Agosto, 2020; Aceptado 30 Diciembre, 2020

#### Resumen

Los estudios agrícolas presentan una restricción común en la toma de decisiones basadas en datos meteorológicos, ya que los modelos climáticos carecen de valores precisos de sus parámetros en función del punto geográfico donde se adquiere la información, por lo que la adquisición climática en posiciones geográficas específicas resulta una posibilidad interesante. El objetivo del presente estudio fue desarrollar una estación meteorológica automática (EMA) móvil con sensores que miden la temperatura del aire (°C), la humedad relativa del aire (%), la radiación solar global (Wm<sup>2</sup>), la velocidad del viento (m/s) y la concentración de dióxido de carbono (ppm); los sensores se conectaron a un medio controlador al cuál se incorporaron: un reloj en tiempo real para adecuar los intervalos de la adquisición, un medio de visualización para mostrar la información al usuario, un módulo de almacenamiento de los datos adquiridos, un módulo de transmisión remota de los datos y un sistema de posicionamiento global. Además, la unidad móvil contiene un chasis, cuatro llantas con sus respectivos motores eléctricos, etapa de potencia, dos servomotores, dos sensores ultrasónicos y la alimentación eléctrica general que le otorgan autonomía en su dinámica de movimiento. Se obtuvo el mapa climático de un polígono de 120m<sup>2</sup>.

EMA móvil, GPS, Mapa Climático

#### Abstract

Agricultural studies present a common constraint in making decisions based on meteorological data, since climate models lack precise values of their parameters depending on the geographical point where information is acquired, so that weather acquisition in positions specific geographical results is an interesting possibility. The objective of the present study was to develop a mobile automatic weather station (AWS) with sensors that measure the air temperature (°C), the relative humidity of the air (%), the global solar radiation (Wm<sup>2</sup>), the wind speed (m/s) and the concentration of carbon dioxide (ppm); the sensors were connected to a controller medium to which they were incorporated: a real-time clock to adapt the acquisition intervals, a display to show the information to the user, a storage module for the acquired data, a module for remote transmission of the data and a global positioning system. In addition, the mobile unit contains a chassis, four wheels with their respective electric motors, power stage, two servomotors, two ultrasonic sensors and the general electrical power that give autonomy in their movement dynamics. The climate map of a polygon of 120m<sup>2</sup> was obtained.

Mobile AWS, GPS, Climate Map

**Citación:** ROMERO-RODRÍGUEZ, Gabriel, HUESCA-LAZCANO, Erick Eduardo, FLORES-RAMÍREZ, Óscar y APAN-ARAUJO, Karla Cecilia. Generación de mapas climatológicos mediante el desarrollo de una estación meteorológica automática móvil. Revista de Tecnologías Computacionales. 2020. 4-11:1-10

\* Correspondencia del Autor: (Correo electrónico: gabriel.romero@upamozoc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo. La meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, sus propiedades y los fenómenos que en ella tienen lugar. Cuando se describen las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concretos, se está hablando del tiempo atmosférico, el cuál, es uno de los principales condicionantes de la actividad humana que se realiza especialmente al aire libre, como la agricultura. Uno de los fenómenos relevantes de la actividad agrícola en la actualidad resulta del clima atípico como: heladas, granizo, lluvias torrenciales, etc; y sumado a la falta de datos en regiones agrícolas específicas provoca la falta de toma de decisiones de prevención y control por parte de los productores.

Así, los retos actuales del monitoreo climático consisten en: disminuir la pérdida de información, mejorar la calidad de los datos, aumentar la distribución de la información, así como, abordar mayor área con redes de EMA's terrestres; este último punto es indispensable para las actividades agrícolas ya que, particularmente en el territorio Mexicano, la distribución de las EMA's son desiguales y dispersas.

La meteorología se basada en principios de Física y en el uso de tecnologías para la adquisición de la información, por lo que se realizan medidas en miles de estaciones meteorológicas ubicadas sobre tierra firme, sobre el mar y a distintas alturas de la atmósfera, tanto en posiciones fijas como a lo largo de las rutas trazadas por barcos, aviones y satélites, aprovechando que todos ellos disponen de instrumentos meteorológicos a bordo.

Los satélites meteorológicos son los sistemas de observación más complejos, la posición que ocupan en su órbita alrededor de la Tierra les permite tener una visión privilegiada, mucho más amplia y de conjunto que la de cualquier aparato situado en la superficie terrestre. Una Estación Meteorológica Automática (EMA) es un equipo que integra diversos dispositivos con la capacidad de medir y almacenar variables climáticas relevantes a una necesidad determinada.

El almacenamiento de la información se realiza a intervalos regulares, más tarde se procesa la información en gráficos y modelos que permiten realizar toma de decisiones (CAA, 2014).

Las exigencias en la tecnología empleada en las EMA's radica en la cantidad, calidad y facilidad para registrar un gran número de variables climáticas, donde se debe considerar que, a mayor número de variables, flexibilidad de almacenamiento, procesamiento, captura y precisión de los datos, mayor será su costo económico. Así, la elección de una EMA dependerá única y exclusivamente de los requerimientos y objetivos que se ha trazado el usuario. Para ello es relevante conocer las características técnicas de las EMA's, número y tipo de sensores para las variables a monitorear, compatibilidad de sensores y repuestos, tipos de almacenamiento y opciones de comunicación (Torres-Ruiz, 2006; CONAGUA, 2010).

Una EMA básica consta de dos unidades típicas: sensores y un datalogger. El sensor es el dispositivo que recibe un estímulo y lo transforma en una señal eléctrica, la cual se interpreta en una escala de medida acorde a la variable que se desea monitorear. El datalogger es un dispositivo electrónico que recibe y adquiere información de los sensores que están conectados a él; frecuentemente incorporan un microprocesador, una unidad de memoria para el almacenamiento y una fuente de energía para su funcionamiento. Las variables climáticas típicas medidas son: temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento (Medina-García et. al, 2008).

Actualmente en el mercado existen múltiples sistemas de monitoreo climáticos. Los desarrollos actuales presentan visualización de datos e integración de sensores múltiples. Las EMA's más usadas son: Vantage Pro de Davis; Onset de HOBO, con sistemas de adquisición de datos, sensores y comunicaciones con una plataforma multisensorial aplicada a la agricultura con diferentes tipos de comunicación; Kipp & Zonen, con registradores de datos y sensores solares que abarcan el espectro desde el Ultravioleta (UV) hasta el Infrarrojo lejano (FIR) y atmosféricos; sistema táctico de observación meteorológica TacMet® MAWS201M de Vaisala, alto desempeño para diversas operaciones de campo.

Sistemas de adquisición de datos series CR-100-1000 de Campbell Scientific para precisión y rapidez de datos climáticos. Algunas EMA's de gama baja son: La Crosse Technology, Honeywell Technology Solutions, TFA; Sistema denominado MS-120-150 de la empresa DYACON se refiere a una estación meteorológica con múltiples sensores y sistema de comunicación embebido y software con aplicaciones predefinidas (Sivakumar et. al, 2000; World Meteorological Organization, 2012; Rehman et. al, 2014; Davis Instruments. 2018).

Una alternativa para obtener datos meteorológicos consiste en generar EMA's mediante el uso de dispositivos electrónicos de código abierto, los cuales suelen ser mucho más económicos que los dataloggers comerciales; como Garzón (2004) emplea redes de telefonía móvil para comunicarse con otras estaciones a través de (GSM) y radioenlaces, Meza (2007) desarrolló un proyecto con radares se encuentran enlazados en una red WLAN, técnicas más nuevas involucran telemetría satelital (TS) y sistemas de información geográfica (SIG) (Sivakumar, et. al, 2004; Al-Mahdi et. al, 2014; Pérez y Martínez, 2011).

Las EMA's proveen información de un solo punto, mientras que las EMA's móviles obtienen datos en puntos específicos que permiten comprender mejor el comportamiento y así controlar las variables deseadas. El presente prototipo posee un medio controlador que le permite adquirir la información en lapsos bien definidos gracias a un reloj en tiempo real, además permite almacenar información continua gracias a un módulo de almacenamiento de 8GB, posee gran movilidad para diferentes terrenos gracias a la tracción de cuatro llantas con motores independientes, una dirección que le otorga maniobrabilidad, un sensor ultrasónico para evadir obstáculos y una batería que le otorga una autonomía de hasta 45 min en uso continuo, además, un sistema de posicionamiento global le brinda su localización geográfica y marca el área de los polígonos monitoreados; un bluetooth permite un mando a distancia gracias a la vinculación con una aplicación dedicada para el control del prototipo. También un sensor de temperatura con precisión de 0.1°C ofrece una buena calidad para la adquisición de datos. Finalmente, el chasis del prototipo le brinda cualidades de acceder a lugares donde las EMA's no pueden medir.

El área representativa de las EMA's del Servicio Meteorológico Nacional es de 5 km de radio aproximadamente en terreno plano; es así que la información que presentan de un punto lejano a la ubicación alguna EMA es, en realidad, un promedio. Por lo que la toma de decisiones basadas en esta información carecen de precisión y pueden provocar importantes pérdidas económicas. Es por esta razón que, si obtienen datos meteorológicos en puntos específicos y se representan de manera gráfica en mapas climáticos, se logrará mejorar la comprensión de la dinámica del clima y así se podrá coadyuvar en la toma de decisiones y contribuir a la mejora de las prácticas agrícolas. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la primera sección se presentó una breve introducción al trabajo, en la segunda sección se aborda la metodología empleada para construir el dispositivo de monitoreo, en la tercera sección se muestran los resultados obtenidos y en la cuarta sección se presentan las conclusiones del trabajo.

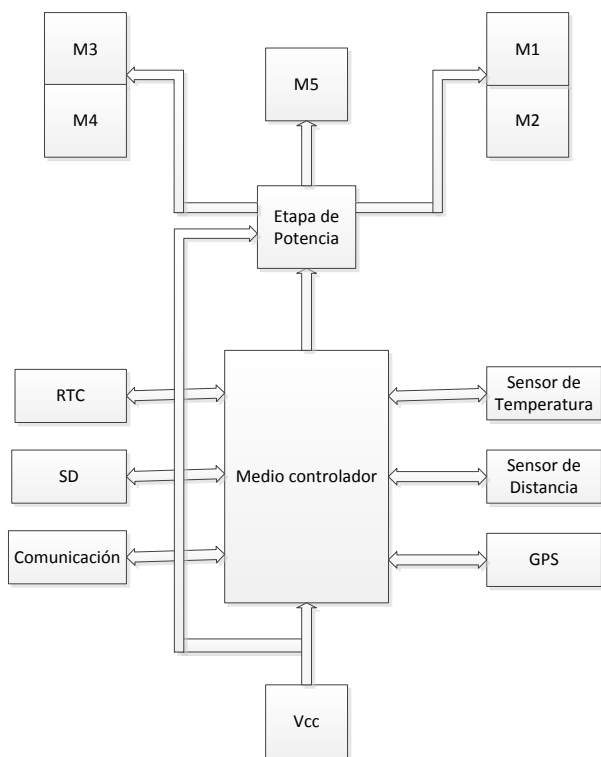
### Metodología

Para obtener el mapa climático de un polígono agrícola se elaboró un método que consiste en los siguientes pasos: 1) Generar un prototipo de EMA móvil, así como su instrumentación electrónica, 2) Montar una EMA para contrastar datos, 3) Ubicar un espacio geográfico y definir el área para relializar el muestreo y 4) Generar un mapa climático de temperatura del polígono muestreado.

El prototipo de EMA móvil se compone de distintos instrumentos electrónicos que se presentan en la Figura 1, donde se observan: el medio controlador, el suministro de voltaje, la unidad de almacenamiento de información, el medio contador de tiempo, la unidad sensora de temperatura y humedad relativa del aire, el sensor de distancia, el módulo de comunicación, el sistema de posicionamiento global así como la etapa de potencia de los motores que dan movilidad al prototipo.

El medio controlador cuenta con una arquitectura RISC a 8 bits, contiene 256 Kb de memoria flash para programación, 8KB de RAM, interfaz 2-wire, SPI y 4 UART, la velocidad de frecuencia es 16MHz, contiene 54 puertos de entrada y salida programables de los cuales 14 puertos PWM, 16 canales de ADC de 10 bits, 6 temporizadores, su encapsulado es TQFP-100.

El medio controlador está conectado a una placa que cuenta con una entrada para una fuente de alimentación externa y un regulador de voltaje, de manera que se pueden conectar de 5 a 12 VDC, cuenta con pines de alimentación de salida de 5v, 3.3v y voltaje de entrada de la fuente externa ( $V_{in}$ ) además de sus tierras comunes GND, también cuenta con una interfaz de comunicación USB por los puertos UART y un Botón de Reset. Para su mejor uso, el medio controlador está conectado a 12v.

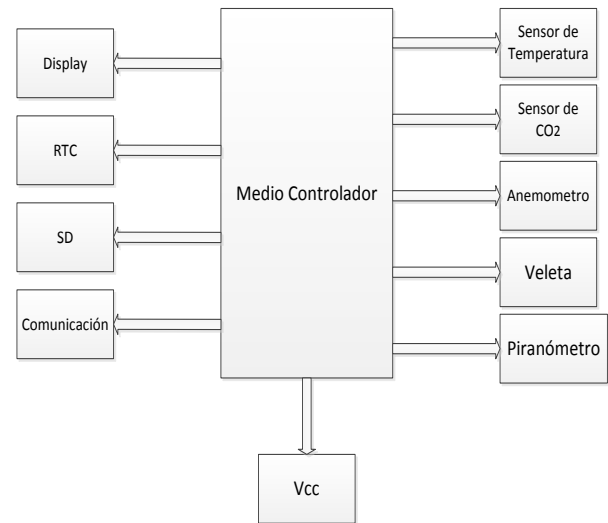


**Figura 1** Diagrama a bloques de los dispositivos electrónicos y sensores del prototipo de EMA móvil

El sensor que mide las variaciones de temperatura (T) del aire en grados Celsius o Fahrenheit, así como la humedad relativa (HR) en porcentaje (%). Este dispositivo tiene 4 terminales, las terminales se conectan al suministro de 5 volts DC y la terminal 4 a tierra (GND) común, la comunicación del dispositivo se hace de forma serial y bidireccional (i2c) por lo que la salida de datos que está en la terminal 2 se conecta al medio controlador en el pin (SDA) y la terminal 3 que corresponde al reloj serial se conecta en el pin (SCL) del medio controlador.

El medio controlador tiene una memoria de 1kb disponible para el almacenamiento del programa y de datos no volátiles (Fisher and Gould, 2012).

Para ampliar la capacidad de almacenamiento, se agregó una tarjeta micro SD de 8 Gb y así los datos se pudieron transferir rápida y fácilmente entre la tarjeta de adquisición de datos y la computadora personal. Se emplearon algunas bibliotecas de software para la lectura de la memoria, escritura y funciones de acceso a datos, lo que permitió una rápida incorporación de almacenamiento de la tarjeta de memoria en el proyecto de registro de datos.



**Figura 2** Diagrama a bloques de los dispositivos electrónicos y sensores de una EMA

En la recolección de datos se necesitó establecer el tiempo adecuado de muestreo de los datos del sensor con fecha y hora. El medio controlador posee un oscilador de 16 MHz y la capacidad de medir incrementos de tiempo con una precisión de microsegundos, pero no está diseñado para proporcionar en tiempo real (horas, minutos y segundos) y la información de la fecha. Por esto se usó un reloj en tiempo real externo (RTC) para establecer las funciones de tiempo y se incorporó una batería de respaldo para retener la información de la hora precisa.

Para que las medidas cumplan con normas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial, la ubicación, orientación y condiciones del entorno de los instrumentos necesitan atenderse a: disponer de una garita situada a 1.5 m del suelo, dentro de la cual se ubican el medio controlador, el sensor de  $CO_2$  y el termómetro, ello se muestra en la Figura 2, que establece la estación meteorológica seleccionada para comparar datos, donde de manera externa se colocan el piranómetro, anemómetro y veleta. Además, en la tabla 1 se presentan las características de los sensores empleados por la EMA para la adquisición de la información.

Variable	Sensor	Características
Temperatura y Humedad del aire	AOSONG	Voltaje de alimentación: DC 3.5 ~ 5.5V Resolución: 16 bits Histéresis: $\pm 0.1\%$ HR y $\pm 0.2^\circ\text{C}$ Precisión de humedad: $\pm 2\%$ HR a $25^\circ\text{C}$ Precisión de temperatura: $\pm 0.1^\circ\text{C}$ a $25^\circ\text{C}$
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> (ppm)	PARALLAX	Voltaje de alimentación: DC 6.5-12V Resistencia de calentamiento: $30\ \Omega$ Corriente de calentamiento: $165\text{mA} \sim 1.2\text{mA}$ Temperatura de operación: $0^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$ Voltaje de Salida: $30-50\text{mV}$ ( $350 - 10,000\text{ppm CO}_2$ )
Radiación Global (Wm <sup>2</sup> )	KOSMOS	Rango: $1-1250\text{w/m}^2 \pm 5\%$ Voltaje de alimentación: $3.0$ a $5.0\text{VDC}$ Salida del Sensor: $0$ a $2.5\text{V}$ Linear: $\text{W/m}^2 = \text{V} * 500$ Corrimiento del Sensor: $1\%$ por año incluye: nivel de burbuja Precisión: $\pm 5\%$ .
Velocidad y Dirección del Viento (ms <sup>-1</sup> )	ADAFRUIT	Voltaje de alimentación: DC $12\text{V}$ Salida de voltaje: $0.4$ a $2\text{V DC}$ Rango de prueba: $0.5\text{m/s}$ a $50\text{m/s}$ Velocidad de viento inicial: $0.2\text{m/s}$ Resolución: $0.1\text{m/s}$ Precisión: en el peor caso $1\text{m/s}$ Máxima velocidad de viento: $70\text{m/s}$

**Tabla 1** Variables climáticas medidas en campo, tipo de sensores y características

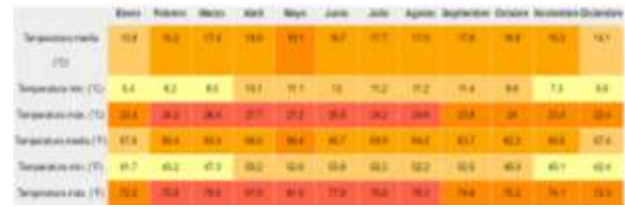
Fuente: Aosong, Sonbest, Parallax, Kosmos y Adafruit

El entorno de software para la programación de se basó en el sistema operativo Windows, utilizando IDE para programar en un lenguaje basado en C++ (Wiring + Processing).

ISSN 2523-6814

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Al ser un proyecto de código abierto, se compilaron y describieron los controles del programa en algunas bibliotecas.



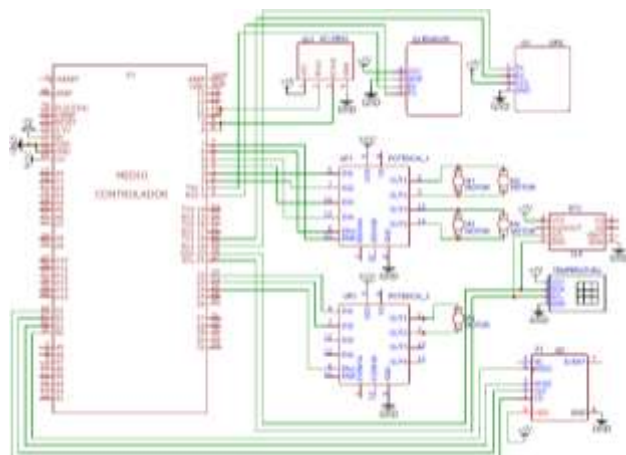
**Tabla 2** Datos de temperatura mensuales durante 1 año, Puebla México

En la Tabla 2 se observan las variaciones de la temperatura mensuales en un año para el Estado de Puebla, sin embargo, con la información de un dato al mes, realizar un análisis es arriesgado. Por otro lado, los mapas del tiempo son representaciones gráficas de los valores de ciertas variables meteorológicas sobre una zona geográfica determinada. Su uso está generalizado entre los meteorólogos, ya que aportan una interesante imagen de conjunto de las situaciones atmosféricas. Una de las variables que mayor información nos proporciona a la hora de conocer una situación meteorológica es la temperatura, cuyos valores sobre la superficie terrestre quedan representados como los que aparecen diariamente en los medios de comunicación. Sin embargo, esta información no llega de primera mano a los agricultores.

## Resultados

La Organización Meteorológica Mundial (2019) establece las pautas sobre cómo colocar los instrumentos de medición de temperatura, la presente investigación consideró la ventilación, protección contra la precipitación y radiación solar directa, así como la determinada altura del suelo para evitar que la energía absorbida por la masa térmica no modificara las mediciones. La Figura 3 muestra la topología de la distribución electrónica propuesta para el prototipo de la EMA móvil, donde se puede observar la forma de conexión entre los sensores y el medio controlar, así como los dispositivos de comunicación y los de tracción.





**Figura 3** Diagrama esquemático de los dispositivos electrónicos y sensores de la EMA móvil



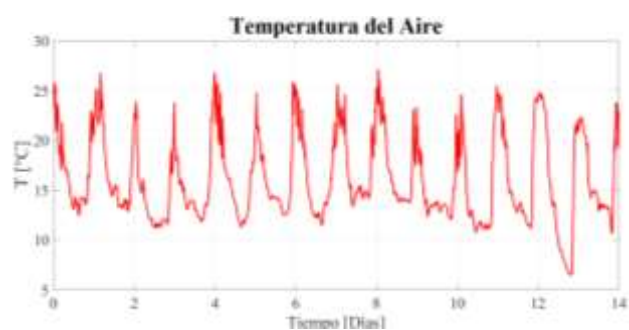
**Figura 4** Prototipo de la Estación Meteorológica Automática Móvil realizando muestreo en campo

En la Figura 4 se observa el prototipo en el momento de realizar el muestreo de temperatura en un área con cultivo de zanahorias en el Estado de Puebla. Para realizar la toma de datos meteorológicos se eligió un terreno agrícola donde se tiene una siembra de varios cultivos, ubicada en una región entre San Mateo Parra y San José Zahuatlán, pertenecientes al municipio de Tepeaca, Puebla, con latitud: 18.987725 y longitud: -97.870442.



**Figura 5** Imagen aérea de los polígonos de cultivos donde se realizó el muestreo

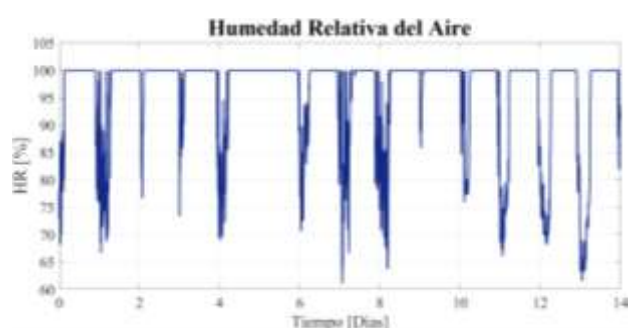
En el lote seleccionado se ubicaron 5 polígonos de 10m ancho por 12m de largo donde se realizó el monitoreo de la temperatura durante cinco días: 30 junio, 6,7,12 y 13 de julio del presente año. Además, durante catorce días, del 30 de junio al 13 de julio, se llevaron a cabo las mediciones de las siguientes variables climáticas: Temperatura del aire  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa del aire  $HR$  (%), concentración de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  (ppm), radiación solar global  $RG$  ( $\text{Wm}^2$ ) y la velocidad de viento  $VV$  (ms). La Organización Meteorológica Mundial define que la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia, así, cuanto mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura, esto quiere decir que si es un día está despejado y el suelo se ha calentado mucho, la temperatura del aire será elevada.



**Gráfico 1** Comportamiento de la temperatura del aire  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

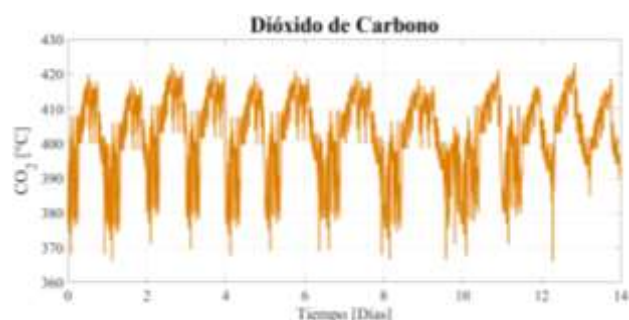
En el Gráfico 1 se puede observar un comportamiento regular de la temperatura del aire ya que la superficie terrestre de los polígonos medidos en los cultivos calienta el aire durante el día y lo enfría durante la noche.

Ya que durante los catorce días de monitoreo climático se presentaron varias lluvias por las tardes, se puede observar que la temperatura del aire no es elevada al no alcanzar los 28 °C ya que los días estuvieron en su mayoría nublados y el suelo apenas recibió radiación solar, así la noche del día 13 y la madrugada del 14 se presentó un descenso importante de la temperatura de hasta 7 °C. Por supuesto, además de la lluvia, otros factores influyeron en la determinación de la temperatura del aire, como la existencia de viento que renueva constantemente el aire del lugar y la presencia de humedad.



**Gráfico 2** Comportamiento de la humedad relativa del aire HR (%)

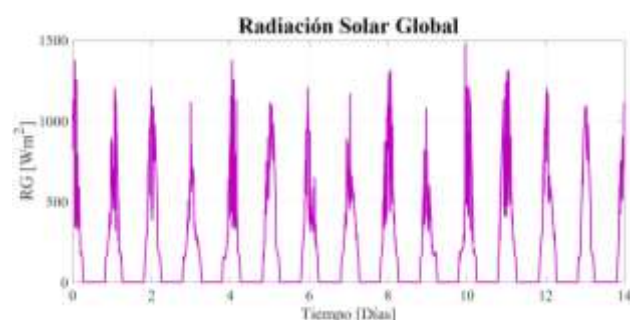
En el Gráfico 2 se observa una alta humedad durante las noches de los catorce días de medición esto debido a las constantes lluvias que se presentaron, esto generó mediciones de hasta 99.99% lo cual es indicativo de que las masas de aire no pudieron almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convirtió en agua líquida.



**Gráfico 3** Comportamiento del dióxido de carbono  $CO_2$  (ppm)

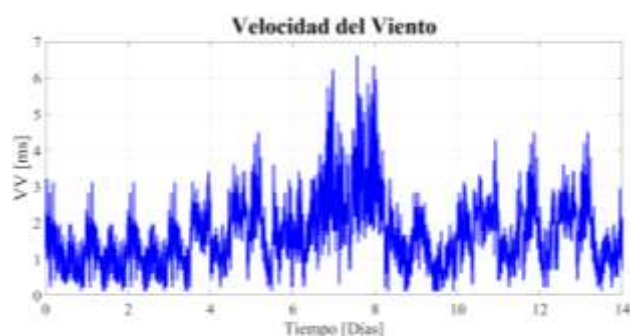
La dinámica que sigue el dióxido de carbono se muestra en el Gráfico 3 donde se observan datos que oscilan entre 365 a 420 ppm.

Esta diferencia presumiblemente se debe a la diferencia de potencial (0-12v) presente en las terminales del sensor, las cuales funcionan como entrada de las ecuaciones programadas en el medio controlador para describir el comportamiento de la concentración en niveles de  $CO_2$  que representan una relación directamente proporcional a la sensibilidad del mismo (0 a 10,000ppm).



**Gráfico 4** Comportamiento de la radiación solar global RG ( $Wm^2$ )

Debido a que los cultivos donde se realizaron las mediciones, las plantas no superaban una altura de 70 cm y que la gran mayoría de la radiación solar es absorbida por la superficie terrestre (51%), mientras que el 19% de ella es absorbida directamente por los componentes atmosféricos y el 30% es reflejada por la superficie, las nubes, y los gases y partículas de la atmósfera, se pueden observar que en el Gráfico 4 la radiación solar global superó en algunos días los 1200  $W/m^2$ .



**Gráfico 5** Comportamiento de la velocidad del viento VV (ms)

En el Gráfico 5 se observa que la velocidad de viento mantuvo una dinámica regular durante los primeros cuatro días, sin embargo su velocidad se incrementó los días cinco y seis, alcanzando su máxima velocidad los días siete y ocho de hasta 6.65 ms; esto debido a que durante el día el aire se calentó más rápidamente que la superficie, de modo que el aire del interior ascendió y fue ocupado por aire más fresco.



Ya que cuando la masa de aire adquirió una temperatura superior a la de su entorno, su volumen aumenta, lo cual hace disminuir su densidad. Por efecto de la flotación, la masa de aire caliente ascendió, y su lugar fue ocupado por otras masas de aire, que en su desplazamiento ocasionaron el aumento en la velocidad del viento.

Con base en los datos obtenidos del monitoreo realizado por el estación meteorológica móvil en los polígonos mostrados, se obtuvieron cinco mapas climatológicos correspondientes a cada uno de los polígonos, donde se monitorearon 4 cultivos, cada uno con 12 surcos de 10 plantas cada uno, los intervalos temporales fueron de 5 segundos entre cada dato medido, esto se fijó junto con la velocidad del móvil para abarcar 120 plantas en 10 minutos, todas las medidas fueron hechas de 3:00:00pm a 3:10:00pm. El lote seleccionado, al momento del monitoreo contaba con los cultivos de: betabel, calabacita (italiana), maíz, zanahoria, poro (puerro) y lechuga crespa (verde y morada), para la generación de mapas climáticos solo se seleccionaron los últimos cuatro cultivos.

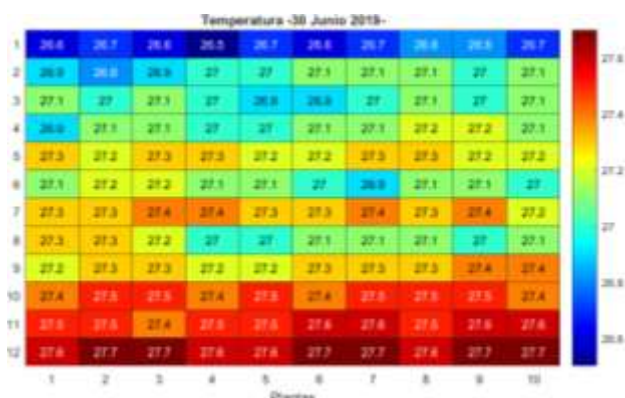


Gráfico 6 Mapa climático ( $T$  (°C)) del cultivo de maíz

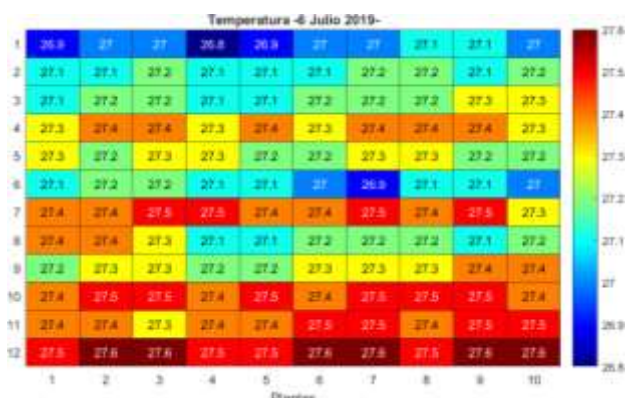


Gráfico 7 Mapa climático ( $T$  (°C)) del cultivo de zanahoria

En el Gráfico 6 se presenta el mapa climático correspondiente al primer polígono, cuyo cultivo fue maíz, donde se destaca que la temperatura fue ascendiendo de 26.8 hasta 27.6, es decir, solo ascendió 0.8 °C en 10 minutos de monitoreo, este comportamiento sigue una dinámica coherente con el cultivo de maíz, que en ese momento presentaba una altura oscilante entre 60 y 70 cm, incluso se presentan ligeros decrementos de temperatura de 0.1 °C, que corresponden con la precisión del sensor y la combinación corrientes de aire. En el Gráfico 7 se presenta el mapa climático correspondiente al cultivo de zanahoria, donde se presentaron variaciones en la dinámica de la temperatura, principalmente descensos, debido a corrientes ligeras de aire y una lluvia que estaba por caer, pero principalmente a que las plantas de zanahoria no superan una altura de 20cm.

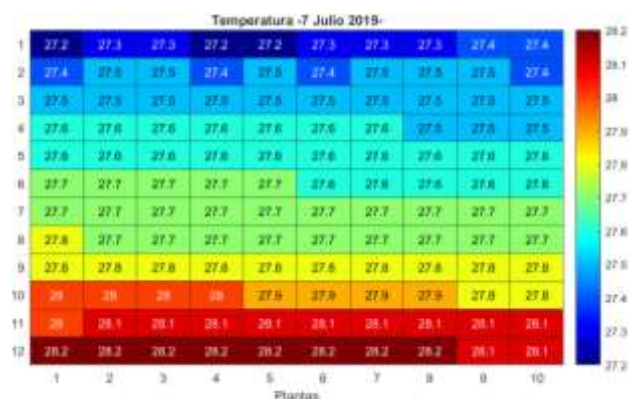


Gráfico 8 Mapa climático ( $T$  (°C)) del cultivo de poro

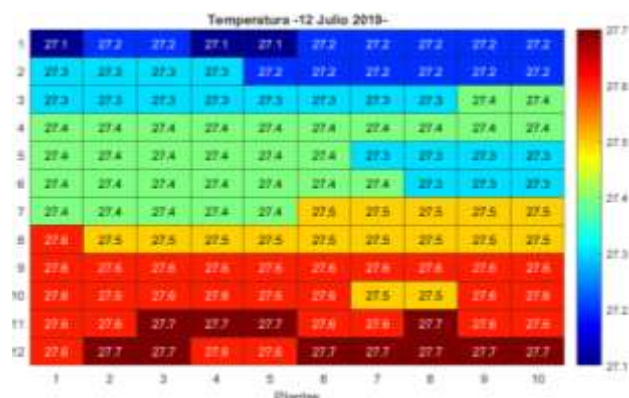
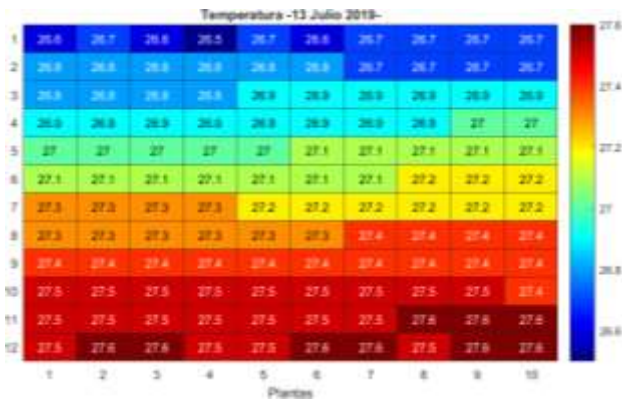


Gráfico 9 Mapa climático ( $T$  (°C)) del cultivo de poro

Los mapas climáticos de los Gráficos 8 y 9 se realizaron en cultivo de poro el cual alcanzaba una altura de casi 50 cm, por lo que el 7 de julio fue más caluroso pues se presentó una oscilación de temperatura entre los 27.2 °C hasta 28.2 °C, mientras que el día 12 de julio osciló entre los 27.1 y los 27.7 °C, en las noches hubo lloviznas ligeras y corrientes de viento elevado por encima de los 6ms<sup>-1</sup>.





**Gráfico 10** Mapa climático ( $T$  (°C)) del cultivo de lechuga crespa

El mapa climático que se muestra en el Gráfico 10 presenta una dinámica principalmente ascendente donde se inicia en la temperatura más baja de los 14 días muestreados, dado que la noche del 12 de julio permaneció bajo lluvia y durante el día se presentó nubosidad, esto lo corrobora las mediciones de radiación solar y la velocidad de viento.

## Conclusiones

Después de analizar los fenómenos observados en los gráficos de las variables climáticas, así como en los mapas climáticos de temperatura de los polígonos de  $120\text{m}^2$  de los cinco cultivos seleccionados, se puede concluir lo siguiente:

Debido a la temporada de lluvias, la dinámica del aire presentó incrementos durante 2 días, por ello su enfriamiento, y así la masa de aire perdió capacidad para contener vapor, llegando fácilmente a la saturación. Entonces el vapor de agua se condensó y forma un 'vaho', éste es el mismo mecanismo que origina la formación del rocío (pequeñas gotas que se observaron en las hojas de las plantas situadas muy cerca del suelo).

Se descubrió que se alcanzó una temperatura de rocío estimada entre los 12 y 18 °C a la que hay se enfrió la masa de aire para producir la condensación sin variar su contenido de vapor. Gracias a la generación de mapas climáticos se logró comprender mejor el comportamiento de la temperatura en los polígonos seleccionados. Si bien, se lograron obtener mapas climáticos, es necesario aumentar el área de los polígonos para comprender la dinámica climática.

Además de agregar un mapa de isobaras, o líneas que unen puntos de igual temperatura, las cuales ofrecerían una mejor idea de la intensidad de la temperatura (a mayor proximidad entre isobaras, mayor intensidad), así como de su ubicación. De este modo se podrían conocer con precisión los puntos de mayor inestabilidad de temperatura y si se dan otra serie de condiciones acompañada de tiempo lluvioso, viento intenso, alta radiación o cualquier otra variable asociada se podría mejorar la toma de decisiones para realizar alguna práctica agrícola por los productores de dicha región sin especular pérdidas.

## Referencias

- Adafruit. 2019. [Consulta 23 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.adafruit.com/>
- Aosong Electronics, Co. Ltd. Digital temperatura and humidity sensor AM2315. Product Manual.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Traducción al español. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 342 p.
- Al-Mahdi, A. M.; Ndahi, E. M. S.; Yahaya, B. and Maina, M. L. 2014. integrated gis and satellite remote sensing in mapping the growth, managing and production of inland water fisheries and aquaculture. Eur. Sci. J. 6(10):178-183.
- Arduino. 2019. An Open-Source Electronics Prototyping Platform. [Consulta 14 de marzo de 2019] Disponible en: <http://www.arduino.cc>
- Camargo, M. B. and Hubbard, K. G. 1999. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid areas of the united states high plains. Agric. Forest Meteorol. (93):141-148.
- Centro del Agua para la Agricultura (CAA), Universidad de Concepción, 2014. Recuperado de <http://files.dlhingenieria.webnode.cl/20000008712c7113c15/ESTACI%C3%93N%20METERE OLOGICA%20AUTOMATICA.pdf> 4 de noviembre de 2018.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. proyecto de modernización del servicio meteorológico nacional de México: diagnóstico institucional y propuesta de plan estratégico 2010-2019. 67 p.

Davis Instruments. 2019. Wireless Vantage Pro2 Plus. Recuperado de [http://www.davisnet.com/weather/products/weather\\_product.asp?pnum=06162](http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06162).

Fisher, D., K. and Gould, P., J. Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research. *SciRes. Modern Instrumentation*, 2012, 1, 8-20. 2012.

Garzón A. Meteorológica y climatología semana de la ciencia y tecnología 2004, Fundación Española para la ciencias y la tecnología, España, 2004.

Kosmos. 2019. [Consulta 17 de mayo de 2019] Disponible en: <http://www.kosmos.com.mx/>

Medina-García, G.; Grageda- Grageda, J.; Ruiz-Corral, J. A. and Báez- González A. D. 2008. Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura. México. INIFAP.

Meza B., Vargas E. Propuesta de diseño de un sistema de comunicaciones alterno para la interconexión del sistema de radares meteorológicos a la sede del Inameh, Universidad Central de Venezuela, 2007.

Parallax Inc. 2010. CO2 Gas sensor module. Product Manual.

Pérez M., Martínez D. Diseño de un sistema de comunicación para la transmisión de datos en tiempo real entre tres estaciones meteorológicas ubicadas en el Volcán Antisana y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, en Quito, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2011.

Rehman, A.; Azafar, A. A.; Islam, N. and Ahmed, S. Z. 2014. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*. 2(36):263-270.

Sonbest. 2019. Soil temperatura and humidity sensor SHT10. Shanghai China.

Sivakumar, M. V. K.; Gommers, R. and Baier, W. 2000. Agrometeorology and sustainable agriculture. *Agric. Forest Meteorol.* (103):11-26.

Sivakumar, M. V. K.; Roy, P. S.; Harmsen, K. and Saha, S. K. 2004. Satellite remote sensing and gis applications in agricultural meteorology. In: satellite remote sensing and GIS applications in meteorology. Sivakumar, M. V. K.; Roy, P. S.; Harmsen, K. and Saha, S. K. (Eds.). World Meteorological Organization. Dehra Dun, India. 427 p.

Torres-Ruiz, E. 2006. 2° (Ed.). *Agrometeorología*. México, D. F. Ed. Trillas. 156 p.

World Meteorological Organization. 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO No. 8. Geneva. 716 p.