

# Sistema de medición de temperatura foliar sin contacto y geo-referenciado

Santiago Tosetti, Flavio Capraro, Carlos Soria, Emiliano Aubone, Javier Mulet

Instituto de Automática  
Universidad Nacional de San Juan - CONICET  
{stosetti, fcapraro, csoria}@inaut.unsj.edu.ar

**Resumen** En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema prototipo para la medición de temperatura foliar sin contacto, para el relevamiento georeferenciado y automático del estado de las plantas. El sistema se ha implementado teniendo como premisa la utilización de elementos de bajo costo. Para la medición de temperatura sin contacto se ha diseñado un arreglo lineal de sensores de tipo infrarrojo, los cuales han sido montados en un vehículo terrestre autónomo. Para la geolocalización se ha desarrollado un GPS diferencial, utilizando módulos GPS de bajo costo y la librería RTKLib. Se presentan los resultados obtenidos con este prototipo y se proponen algunas mejoras a tener en cuenta para futuras versiones.

**Keywords:** Temperatura foliar, sensores infrarrojos, GPS diferencial

## 1. Introducción

En el contexto de la agricultura moderna, donde se requiere una mayor producción para satisfacer las necesidades de la creciente población y donde la tierra y el agua se están convirtiendo en recursos cada vez más escasos, la medición de parámetros, tanto del ambiente como del cultivo es una práctica cada vez más utilizada dentro de la agricultura de precisión. Entre las variables que se utilizan para monitorear la evolución del cultivo, podemos mencionar a la humedad de suelo, el tamaño de fruto, la temperatura foliar, entre otros.

Se ha demostrado que, en particular, la medición de la temperatura foliar del cultivo es importante para entender la condición fisiológica de la planta, dado que sus valores y variaciones están estrechamente relacionados con el crecimiento y la salud de la misma [8]. Por ejemplo en el trabajo de [9] se demuestra una clara relación entre la temperatura de la hoja y la fotosíntesis. Por otro lado, contar con esta información es de utilidad para la gestión del riego, la selección de variedades y estimación de la producción [10].

Por temperatura de la hoja, se entiende la temperatura superficial, que es influenciada tanto por la misma fisiología de la planta como por diversos factores climáticos tales como radiación solar, temperatura del aire, humedad ambiente, viento, etc.

Si bien el concepto de temperatura de hoja fue desarrollado a finales del siglo XIX, es con el desarrollo de sensores y técnicas sin contacto que se ha logrado una mejor comprensión de su importancia y de los factores que la modifican. La temperatura de

la hoja afecta la fotosíntesis y la transpiración de la planta, y su su valor está altamente correlacionado con el estado de estrés hídrico del cultivo [8], [2].

Diferentes metodologías de medición se han desarrollado para la obtención de la temperatura de hoja. En el trabajo de [10] se mencionan algunos de los métodos, con sus respectivas ventajas y desventajas. Los métodos basados en contacto, tales como el uso de termistores y termocuplas implican de algún modo una perturbación de la hoja, aunque son de fácil instalación y alta precisión, [10]. Por otro lado, los métodos sin contacto, tales como la utilización de cámaras termográficas o de termómetros infrarrojos [3], han evolucionado considerablemente, reduciendo sus costos y mejorando su precisión [1]. En particular, la utilización de un termómetro infrarrojo tiene algunas ventajas sobre las cámaras termográficas, ya que presentan menor costo y mayor facilidad de uso [4], a costa de una menor cantidad de información adquirida. Sin embargo en [3] se demuestra que bajo ciertas circunstancias las mediciones realizadas con cámaras termográficas y termómetros infrarrojos, no presentan diferencias significativas.

Desde el punto de vista operativo, y para que los datos puedan ser comparados en el tiempo, es importante poder geolocalizar todas las mediciones realizadas. En particular, esto permitiría construir un mapa con el estado de cada planta. El Sistema de Posicionamiento Global o GPS, aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS1, es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita a 20.200 km sobre el globo terráqueo, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar una posición, el receptor localiza automáticamente al menos tres satélites de la red, de los que recibe información de posición y reloj. Con esta información el receptor sincroniza su reloj interno y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Luego, mediante triangulación de los satélites observados se calcula la posición en la que el receptor se encuentra.

Para aplicaciones generales, tales como su utilización en calles, o para la localización de lugares turísticos, el GPS brinda una nivel de precisión más que aceptable. Sin embargo, cuando se requiere trabajar con mas detalle, como por ejemplo en caso de identificación de cada planta dentro de un cultivar, se requiere del uso de una tecnología denominada RTK-GPS (del inglés real-time kinematic GPS), que utiliza dos estaciones de GPS interconectadas mediante un sistema de comunicaciones [7]. Una de las estaciones, denominada *Base* se debe mantener estática, en una posición conocida. La otra estación, denominada *Rover* puede ser móvil. La utilización de estos sistemas de posicionamiento permiten una precisión del orden de los 2 cm. En general los sistemas RTK-GPS son sistemas voluminosos y de alto costo. Aunque estas características no representan un problema para la maquinaria utilizada en la agricultura de precisión, la construcción, la agrimensura, etc., para aplicaciones mas específicas, donde el tamaño y el costo son factores claves, la implementación de un sistema de bajo costo y tamaño reducido se torna importante.

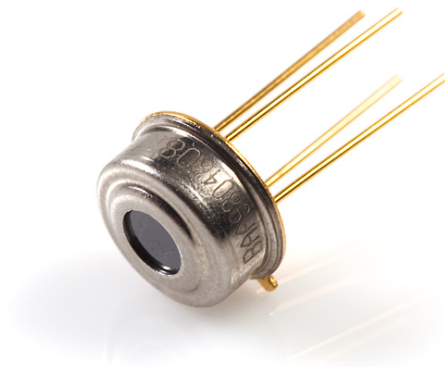
Otro aspecto importante a tener en cuenta es la automatización del proceso de medición, para que toda la información pueda ser obtenida en condiciones similares y con un esfuerzo reducido por parte del operario. Para cumplir este objetivo, la utilización de una plataforma móvil autónoma sería de gran ayuda.

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema para la medición, georeferenciada y sin contacto, de la temperatura foliar. El desarrollo incluye el diseño del sistema de sensado, la implementación de un sistema de RTK-GPS de bajo costo y la integración de los dispositivos anteriores con una plataforma móvil autónoma desarrollada en trabajos anteriores.

## 2. Materiales y métodos

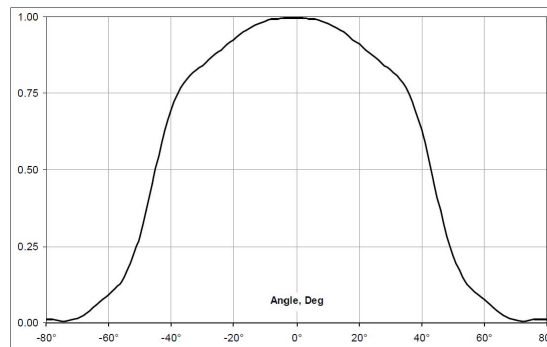
### 2.1. Termómetros Infrarrojos

Para medir la temperatura foliar, se utilizaron sensores infrarrojos marca Melexis modelo ML90614, similares al presentado en la Fig. 1. Los sensores poseen salida digital y cuentan con un conversor analógico digital de alta resolución de 17 bits, una unidad de procesamiento digital de la señal, garantizando una alta resolución y precisión alcanzada. El sensor viene de fábrica calibrado [5]. El sensor además cuenta con un filtro óptico que limita el flujo radiante visible e infrarrojo cercano, dicho filtro está integrado en el empaquetado para proporcionar inmunidad al ambiente y la luz solar. Las temperaturas de ambiente  $T_a$  y del objeto  $T_o$  calculadas se almacenan en la memoria RAM interna del dispositivo con una resolución de 0,02°C, y son accesibles por las salidas: con protocolo serial de dos cables SMBus (I2C o TWI) o vía PWM (modulación por ancho de pulso) de 10-bits.



**Figura 1.** Sensor de temperatura infrarrojo Melexis MLX90614

Los sensores utilizados (MLX90614xAA) tienen un campo de visión de 90°, como se ve en la Fig. 2.



**Figura 2.** Campo de visión del Sensor MLX90614xAA

## 2.2. Sistema de GPS

Para el desarrollo del sistema RTK-GPS, se utilizaron dos módulos de GPS de muy bajo costo, marca Ublox modelo NEO - M8N, similar al presentado en Fig. 3 y fueron ubicados en la *Base* y en el *Rover*, respectivamente. Estos módulos tienen la particularidad de poder utilizar hasta tres constelaciones simultáneas (GPS/Galileo/GLONASS), y proporcionan gran precisión aún en lugares con señal débil. Sin embargo, cada módulo por separado tiene una precisión de alrededor de 10m.

Para que los dos GPS puedan intercambiar información y el *Rover* pueda corregir su posición según el sistema RTK, es necesario que entre los módulos exista un enlace de comunicaciones. En este caso en particular, con la premisa de obtener un sistema de bajo costo y teniendo en cuenta que las distancias de trabajo no serán mayores a los 200 m, se optó por la utilización de módulos de radio Digi Xbee PRO, con un alcance máximo de 1.6 Km en línea de vista, que se configuraron en modo transparente.

## 2.3. RTKLib

La implementación del sistema RTK requiere tanto el uso de hardware para la recepción de las señales satelitales y la transmisión de la información para la corrección de la posición del *Rover*, como del uso de software para la realización de los cálculos de corrección. El sistema RTK se implementó mediante la librería de software libre RTKLib, [7]. La RTKLib es un software libre y de código abierto por lo que es muy utilizado en distintas aplicaciones como la robótica, agricultura de precisión, meteorología, posicionamientos, etc. La misma cuenta con una serie de aplicaciones tanto para Windows (GUI) como para Linux (CUI) lo que permite adaptarla a cualquier tipo de proyecto. Este software es el que, una vez instalado y configurado correctamente, se encarga de realizar los cálculos de corrección de la posición de la estación remota.

La librería RTKLib está escrita en lenguaje C++ y al contar con una versión disponible para Linux, se pudo compilar y correr en una minicomputadora Raspberry PI 3 modelo B, con sistema operativo Raspbian. La miniPC se instala en la estación remota, y se encarga de leer los datos del GPS y recibir la información que envía la estación base, para entregar una posición corregida con una precisión del orden de los 5 cm o menor.

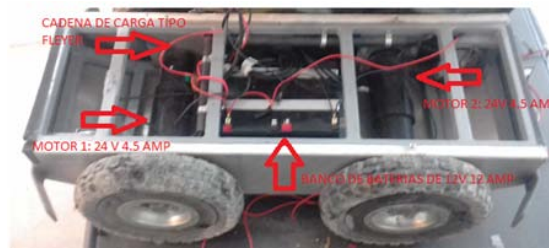


**Figura 3.** Modulo de GPS Ublox M8N

#### 2.4. Plataforma móvil

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, es de gran utilidad que el sistema de medición, compuesto por un arreglo de sensores infrarrojos de temperatura, el receptor GPS y el módulo de comunicaciones, pueda desplazarse dentro de un cultivo de manera autónoma, o al menos guiado por control remoto. Por este motivo, se utilizó una plataforma móvil, Fig. 4, diseñada en el Instituto de Automática de la Universidad Nacional de San Juan a la cual se agregó un sistema de control. El vehículo posee dos motores de corriente continua (DC). El primero de ellos se encuentra ubicado en eje delantero del lado izquierdo del vehículo y mediante una cadena de carga tipo Fleyer se conecta con la rueda izquierda trasera, logrando el movimiento de ambas ruedas con la misma resolución de giro. El segundo motor se encuentra en el eje trasero de lado derecho del vehículo y al igual que el anterior, se encuentra conecta con la rueda delantera derecha mediante una cadena, obteniéndose de esta forma una tracción en las 4 ruedas, con una dirección de tipo diferencial.

Para el control de lo movimientos del robot se utilizó una placa de desarrollo de Arduino UNO basadas en el Microcontrolador ATMEGA 328, que genera el PWM para movimiento de los motores del robot. El PWM sirve de referencia para que un circuito electrónico, denominado Puente H gestione la energía necesaria para el movimiento de los motores. En este trabajo se han utilizado los drivers Monster Shield VNH2SP30 [6].



**Figura 4.** Plataforma Móvil desarrollada en el Instituto de Automática, UNSJ - CONICET

### 3. Desarrollo del sistema

#### 3.1. Configuración del arreglo de termómetros

Con el objeto de poder tomar mediciones de temperatura en distintos puntos de la superficie foliar de la planta y así reconstruir un perfil de temperatura de la misma, se diseñó un arreglo lineal de sensores de temperatura. Para tal fin, se dispusieron, alineados en un perfil metálico, cinco sensores separados 6 cm unos de otros. La separación entre los sensores se ha determinado en función de una distancia de medición de 3 cm recomendada por el fabricante y del campo de visión (FOV) de los sensores utilizados. Cada sensor tiene por lo tanto un área circular de medición de 3 cm de radio y el conjunto de los sensores permite abarcar una franja de 30 cm de longitud. El perfil metálico donde se montaron los sensores tiene una longitud total de 60 cm y una vez montado sobre la plataforma, todo el conjunto alcanza una altura de aproximadamente 1 m. El arreglo de sensores descrito se puede apreciar en la Fig. 5. Los sensores se configuraron con diferentes direcciones y se conectaron a un bus de comunicación I2C, para poder ser leídos desde la mini PC.

#### 3.2. Desarrollo de la plataforma móvil

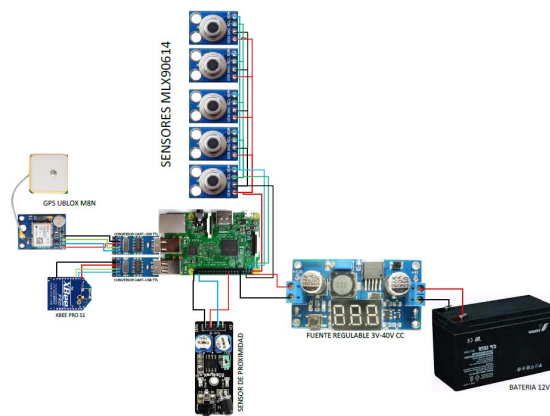
La plataforma móvil integra el arreglo de sensores, el receptor GPS y el sistema de comunicaciones. Todos los elementos se conectan entre sí, de acuerdo al esquema de la Fig. 6.

El *Rover* posee una batería de 12 Volts que está ubicada dentro del vehículo y una fuente regulable para modificar el valor de tensión a 5 Volts que es la tensión con la que trabaja comúnmente la Raspberry Pi 3. En la Figura se observa la Raspberry Pi 3 como centro de conexión, la cual será la encargada de realizar la ejecución del programa que une el arreglo de sensores junto al módulo GPS M8N, conectado en forma directa a través del puerto USB y en el otro puerto conectado el módulo XBee Pro. Conectado al Raspberry Pi se encuentra también el sensor de proximidad cuya función será, detectar un objeto, el sensor envía un pulso y entonces el programa obtiene los datos medidos de temperatura y de geoposición actual.

Todos los datos de temperatura y posición se almacenan en un archivo de texto para que puedan ser analizados a posteriori.



**Figura 5.** Arreglo de sensores de temperatura, montados sobre la plataforma móvil



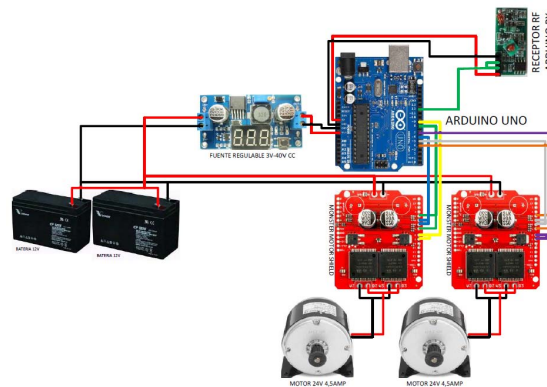
**Figura 6.** Esquema de conexiones de los elementos montados sobre la plataforma móvil

La estación base, por otro lado, tiene una estructura más simple, ya que sólo consiste en un sistema de alimentación, el receptor de GPS y el módulo de comunicaciones. El esquema de conexiones se presenta en la Fig. 8



**Figura 7.** Esquema de conexiones de los elementos de la estación base

Finalmente, la estructura para el control de movimiento de la plataforma se presenta en la Fig.



**Figura 8.** Esquema de conexiones de los elementos de la estación base

## 4. Experimentación

### 4.1. Calibración del arreglo de sensores

Debido a que el arreglo de sensores de temperatura se armó con elementos disponibles en el Instituto de Automática, todos de la misma familia (MLX90614xAA), pero con distintas resoluciones (BAA, resolución de 0.2 en el rango 10°C-120°C; y DAA, resolución 0.02 en el rango 30°C-40°C, este último orientado a aplicaciones médicas)



fue necesario realizar una calibración de los mismos para asegurar que las mediciones del arreglo de sensores sean homogéneas.

Es importante destacar que también se ha evaluado el comportamiento de los sensores con respecto a la temperatura ambiente, ya que los sensores han sido montados sobre un perfil metálico que será expuesta al sol en las pruebas a campo. Este factor es importante ya que los sensores infrarrojos toman como referencia la temperatura de su encapsulado para poder generar una medición calibrada de la temperatura del objeto, por lo que una modificación en la temperatura del encapsulado podría afectar la medición del objeto.

La Tabla 1 presenta una comparación de las mediciones de los sensores, teniendo los dos dispositivos sometidos a la misma temperatura ambiente.

Sensor	T° Ambiente [°C]	T° Objeto [°C]
MLX90614BAA	20.14	10.26
MLX90614DAA	20.08	9.99
<b>Diferencia</b>	0.06	0.27

**Tabla 1.** Mediciones comparativas de los dos tipos de sensores

En el caso de que la temperatura de los encapsulados sea distinta, los resultados son los siguientes, presentados en Tabla 2.

Sensor	T° Ambiente [°C]	T° Objeto [°C]
MLX90614BAA	40.04	9.20
MLX90614DAA	27.60	10.46
<b>Diferencia</b>	12.46	1.26

**Tabla 2.** Mediciones comparativas de los dos tipos de sensores, sometidos a distinta temperatura ambiente

En este caso, se puede comprobar que la diferencia en las mediciones se incrementa de manera considerable.

El fabricante sugiere que en caso de utilizar sensores de distinto tipo, se realice una corrección en las mediciones de acuerdo a la siguiente ecuación:

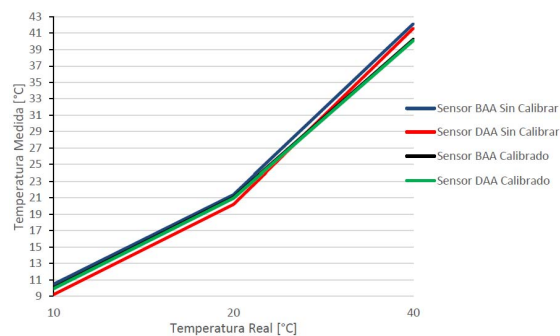
$$T_{compensada} = T_{objeto} - (V_{DD} - 3) * 0,216; \quad (1)$$

donde  $T_{compensada}$  es la temperatura corregida,  $V_{DD}$  la tensión de alimentación real del sensor (3,36V), y 0,216 es una constante provista por el fabricante. Luego de aplicar la fórmula, las mediciones de los dos sensores se aproximan bastante, tal como se muestra en la Tabla 3.

Sensor	T° Ambiente [°C]	T° Objeto[°C]
MLX90614BAA	23.36	12.06
MLX90614DAA	23.58	11.91
<b>Diferencia</b>	0.22	0.15

**Tabla 3.** Mediciones comparativas de los dos tipos de sensores, con corrección

La Fig. 9 presenta la curva de calibración de los sensores, antes y después de la corrección explicada mas arriba, demostrando que las curvas de ambos modelos son prácticamente iguales.



**Figura 9.** Curva de calibración de los sensores, antes y después de la corrección

Para evaluar el funcionamiento y correcta calibración de los sensores de temperatura se realizaron diferentes pruebas de medición en condiciones de laboratorio. Dichas pruebas consistieron en el sensado de la temperatura exterior de botellas que contenían agua a diferentes temperaturas. Los envases, de plástico transparente, fueron recubiertos con papel para generar un cuerpo opaco y así evitar las posibles difracciones en la medición. Es importante aclarar que el papel se mojó para mejorar la conductividad térmica y lograr que estuviera a la misma temperatura que el interior del envase. Para la obtención de las mediciones, en primer lugar, se enumeraron las bases de las botellas de derecha a izquierda, tal como se puede observar en la Fig. 10, Las mediciones se realizaron con el arreglo de sensores montado sobre el robot con un desplazamiento de derecha a izquierda.

Debido a que el sistema del robot con el arreglo de sensores de temperatura posee una altura de casi 1m, los objetos de prueba (botellas) fueron colocadas sobre bancos de 60cm de altura simulando el tronco y copa de un árbol pequeño, las mismas se ubicaron separadas entre ellas a un 1m de distancia. Se utilizó un termómetro FLUKE 62 MAX para la toma de mediciones de control, para la posterior evaluación del error y calibración de los sensores de temperatura. Las pruebas se realizaron haciendo avanzar al robot a velocidad constante, en una línea paralela a la de los envases. Cuando el



**Figura 10.** Prueba de laboratorio para evaluar el funcionamiento del sistema

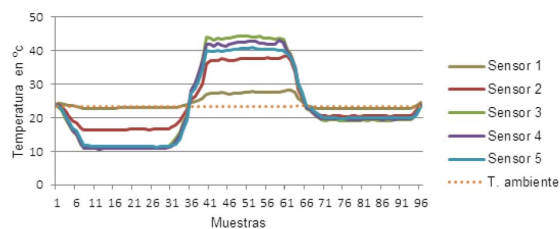
sensor de proximidad detecta la presencia del objeto, el robot se detiene 5 segundos y se realiza la medición con los 5 sensores de temperatura del arreglo. Para el ordenamiento de la información, los sensores fueron numerados del 1 al 5 y de abajo hacia arriba. Las muestras de cada una de las pruebas fueron almacenadas en la memoria de las Raspberry, para luego ser analizadas por computadora.

La Tabla 4 presenta los valores de temperatura de las botellas, medidas con el termómetro Fluke:

Objeto	Temperatura [°C]
Botella 1	11
Botella 2	42
Botella 3	20

**Tabla 4.** Mediciones realizadas con el termómetro Fluke 62 Max

Las temperaturas medidas con el sistema de medición autónomo se presentan en la Fig. 11: Tal como se puede observar, de la comparación de los valores en la Tabla 4 y

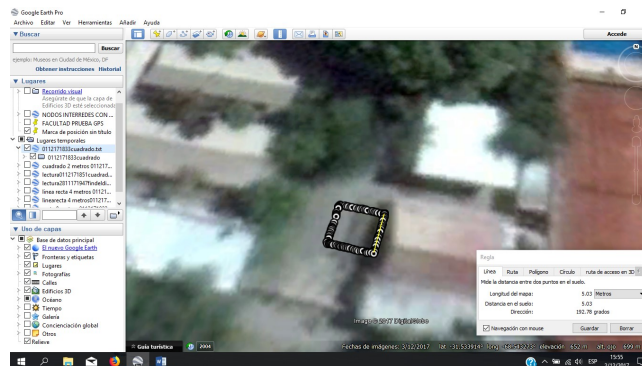


**Figura 11.** Temperatura de las botellas medida con el sistema autónomo

la Fig. 11, los valores obtenidos por los dos métodos son similares. Cabe aclarar que en la Fig. 11, el sensor inferior del arreglo (sensor 1) no recibió prácticamente radiación de las botellas, debido a su ubicación por debajo de las mismas. El sensor 2, tiene a las botellas en un extremo de su campo de visión, mientras que los sensores 3, 4, y 5 están correctamente alineados. De ahí la diferencia en las mediciones de los sensores.

#### 4.2. Evaluación del sistema RTK-GPS desarrollado

Para evaluar el desempeño del sistema RTK-GPS, se realizaron pruebas tanto en el ambiente urbano de la UNSJ como en espacios abiertos. Se realizó una prueba consistente en hacer que la plataforma móvil, *Rover*, realice un recorrido rectangular, de 5m de lado, obteniéndose un error de alrededor de 4cm. La Fig. 12, muestra una vista superior en GoogleMaps, con el recorrido realizado y la distancia medida entre el punto inicial y final de uno de los lados.



**Figura 12.** Recorrido realizado por el *Rover*, en un cuadrado de 5m de lado

Una segunda prueba, esa vez con cuadrado de 2m de lado, entregó resultados similares. Es importante notar que debido a que el módulo GPS instalado en el *Rover* tiene una antena fija de poca ganancia, el sistema no puede lograr estabilizar las mediciones por lo que el error de posición se mantiene en el orden de los 4cm.

Una nueva prueba se realizó a campo abierto, en las instalaciones del INTA en Pocito, San Juan. En este caso se dispusieron 6 conos en línea recta con una separación de 5 metros entre cada uno logrando una distancia total de 30 metros. Para obtener una medición distinta a las anteriores el recorrido del robot se realiza, de ida, en forma paralela a la disposición de los conos a velocidad constante como demostró ser necesario en las pruebas anteriores, luego partiendo desde el último punto volviendo al punto inicial, pero con una desviación de 3 metros en el punto final, para evitar la superposición de los puntos en el mapa para lograr una mejor visualización, como se observa en la Fig. 13. La precisión del sistema se encuentra en 3.9 centímetros de error en posición.



Figura 13. Recorrido lineal realizado por el robot en un espacio abierto

#### 4.3. Pruebas a campo del sistema

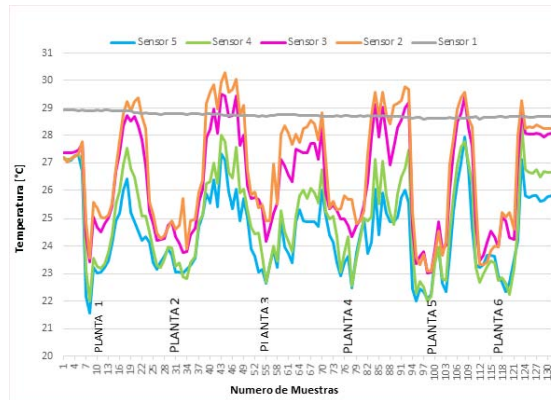
Finalmente, una vez comprobado el correcto funcionamiento de las partes por separado, se procedió a realizar la prueba de todos el sistema. Se realizaron distintas mediciones en una plantación experimental de vid, ubicada en las instalaciones del INTA, Pocito, San Juan.

Durante la experiencia se realizó un recorrido tomando las temperaturas de 6 cepas de uva de una línea del viñedo. La prueba consistió en que el robot avanzara a una velocidad constante y relativamente lenta, con el arreglo de sensores de temperatura orientado hacia el follaje de las cepas de uva a una distancia de 5cm. La Fig. 14 presenta una imagen del experimento.

Los resultados obtenidos en esta experiencia se presentan en la Fig. 15. En esta se observa que los sensores 2, 3, 4 y 5 tuvieron un enfoque continuo de la superficie foliar de las cepas, mientras que el sensor 1 (el primero de abajo hacia arriba en el arreglo), no tuvo incidencia sobre las mismas captando en todo su recorrido la temperatura ambiente. En la Fig. 15 se muestra de forma detallada las diferentes temperaturas obtenidas con el arreglo de sensores, las lecturas de temperatura de la superficie foliar de las 6 plantas rondan entre los 25°C, mientras que los espacios entre las plantas, donde tiene una menor densidad de follaje la temperatura aumenta tendiendo a la del ambiente (28°C), esto se debe a que existe más circulación de aire e incidencia de luz solar. Es importante notar que las mediciones se realizaron a una distancia aproximada de 5cm de la plata. Esta distancia es difícil de mantener con el sistema actual, dadas las irregularidades del terreno, lo que genera una oscilación importante en el extremo superior del soporte de los sensores de temperatura.



**Figura 14.** Robot realizando la medición de temperaturas de manera autónoma



**Figura 15.** Temperatura de las cepas medidas por el robot

## 5. Conclusiones

En este trabajo se presentó el desarrollo de un sistema prototipo de bajo costo para la medición automática y geo-referenciada de la temperatura foliar. Se desarrolló un RTK-GPS a partir de dos módulos económicos de GPS, conectados con un enlace de radio implementado con XBee y un sistema de cómputo Raspberry PI 3 para correr la librería RTKLib. Como plataforma móvil se utilizó una existente a la cual se le agregó el sistema de control. El arreglo de sensores, quizás lo más oneroso del sistema, se implementó con sensores de temperatura infrarrojos MLX90614. Los resultados obtenidos con el sistema son mejorables aunque promisorios. Como trabajos futuros, se espera reemplazar los sensores de temperatura por unos similares pero con un campo de visión más estrecho, para permitir mediciones más puntuales y con mayor precisión. Se debe mejorar también el sistema de soporte de los sensores, para evitar las oscilaciones ocasionadas por las irregularidades propias del terreno agrícola, que hacen que la distancia de medición no se mantenga constante.

## Referencias

1. Acock, B.: Methods of measuring leaf temperature. In: ISHS Acta Horticulturae 7, Symposium on Techniques of Experimentation in Greenhouses, Diciembre 1968
2. Grant, O.M., Tronina, L., Jones, H.G., Chaves, M.M.: Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevines under different irrigation regimes. *Journal of experimental botany. Imaging Stress responses Special Issue* 58(4) (2007)
3. Hackl, H., Baresel, J.P., Mistele, B., Hu, Y., Schmidhalter, U.: A comparison of plant temperatures measured by thermal imaging and infrared thermometry. *Journal of agronomy and crop science* 198(6) (2012)
4. Hatfield, J.L.: Measuring stress with an infrared thermometer. *HortScience* 25(12) (1990)
5. Melexis Integrated Systems: Datasheet MLX90614 family (2015)
6. STMicroelectronics: Automotive fully integrated H-bridge motor driver (2017)
7. Takasu, T., Yasuda, A.: Development of the low-cost rtk-gps receiver with an open source program package rtklib (Enero 2009)
8. Udompetaikul, V., Upadhyaya, S.K., Slaughter, D., Lampinen, B., Shackel, K.: Plant water stress detection using leaf temperature and microclimatic information. In: 2011 ASABE Annual International Meeting
9. Winter, S.R., Namken, L.N.: Results of changing light and temperature regimes in a corn field and temperature effects on the apparent photosynthesis of individual leaves. *Agron. J* 62, 181–184 (1970)
10. Yu, L., Zhang, X., Zheng, W.: A review on leaf temperature sensor: Measurement methods and application. In: Li D., L.Z. (ed.) *Computer and Computing Technologies in Agriculture IX*. CCTA 2015. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 478. Springer