



## VALIDACION DE DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS MEDIANTE MONITOREO DE TEMPERATURA EN HUERTOS DE MANZANOS

### DATA VALIDATION OF AUTOMATIC WEATHER STATIONS BY TEMPERATURE MONITORING IN APPLE ORCHARDS

Celerino Quezada<sup>1\*</sup>, Marjorie Mercado<sup>1</sup>, Richard M. Bastías<sup>1</sup>, Marco Sandoval<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile.

\* Autor para correspondencia E-mail: [cequezad@udec.cl](mailto:cequezad@udec.cl)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9424-2785>

#### RESUMEN

El monitoreo de datos agrometeorológicos es útil para prevenir daños a los cultivos, predecir rendimientos y tomar decisiones en beneficio de la producción agrícola. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de los datos de temperatura en huertos de manzanos *Malus x domestica* Borkh. generados por estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) en la zona central de Chile. Se usó un diseño completamente al azar en tres huertos. La temperatura fue monitoreada con sensores iButton instalados en el medio de la canopia, en posición interna, central y externa del dosel del árbol, y otro cercano a la EMA del huerto. Los resultados indican que no se presentaron diferencias significativas de temperatura entre los sensores ubicados dentro del dosel del árbol (posición interna, central y externa). Así mismo, el árbol de la hilera de la orilla del huerto presentó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) con respecto al árbol de la hilera central del huerto. La distancia de la EMA con respecto a los árboles evaluados no tuvo incidencia en la representatividad de los datos y su rango de validación alcanza hasta 5,7 km.

**Palabras clave:** sensor, temperatura, posición árbol, distancia.

#### ABSTRACT

Agrometeorological data monitoring is a useful tool to prevent crop damage, predict yield and make good farm decisions. The objective of this study was to evaluate the quality of temperature data in apple orchards *Malus x domestica* Borkh. generated by automatic weather stations (AWS) in the central zone of Chile. The study was conducted in 3 orchards, using a completely randomized design. The temperature was monitored with iButton sensors installed in the tree canopy (inner, central and outer), and also next to the AWS. No significant differences were found between temperatures recorded in the tree canopy (inner, central and outer). However, temperatures observed in edge-row tree showed significant differences with respect to central-row tree. The distance of the AWS from the trees evaluated had no impact on the representativeness of the data, and validation range reaches up to 5.7 km.

**Key words:** sensor, temperature, tree position, distance.

## INTRODUCCIÓN

Los registros agrometeorológicos son requeridos para la generación y utilización de modelos de simulación de cultivos y evaluar el efecto del clima en la producción agrícola. Por lo anterior, el número de redes de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) ha aumentado considerablemente en todo el mundo durante las dos últimas décadas (Lagourvardos et al., 2017). Este rápido desarrollo ha sido consecuencia de la necesidad de disponer de datos meteorológicos en tiempo real, lo que ha sido posible por el uso de sistemas de información remota y automática (Estévez et al., 2011).

La información que aporta una red de EMAs es posible que no represente la realidad de los predios agrícolas, debido a que la distancia o la situación topográfica, pueden alterar el comportamiento de una o más variables. Además, los datos climáticos pueden presentar defectos por la modificación del ambiente que las rodea, como la discontinuidad o errores en el registro, pérdida de la información y poca homogeneidad, lo que se soluciona usando datos de estaciones cercanas y técnicas estadísticas (Tsinko et al., 2018). Por lo anterior, se requiere un procedimiento de control de calidad para un número tan grande de observaciones, y de este modo detectar errores relacionados con la ubicación, mantención, calibración, supervisión, frecuencia de las mediciones o caídas del sistema computacional (Estévez et al., 2016; Lagourvardos et al., 2017; Gentilucci et al., 2018)

En Chile, la Red Agroclimática Nacional (RAN) articula 254 estaciones meteorológicas automáticas distribuidas en todo el país, destinadas a entregar información meteorológica a grupos de agricultores preocupados por la creciente inestabilidad climática y los efectos sobre sus rubros productivos (ODEPA, 2013). Sin embargo, las bases de datos de las estaciones meteorológicas tienen una cobertura regional y pueden tener grandes vacíos en la cobertura a lo largo del tiempo, así como errores en los registros climáticos, las coordenadas y altitud de la estación (Castellanos-Acuña y Harmann, 2020).

Por lo anterior, el objetivo general de esta investigación fue evaluar la calidad de los datos generados por las EMAs de la Red Agroclimática Nacional, mediante monitoreo de la temperatura en huertos de manzanos. Los objetivos específicos fueron: i) determinar el comportamiento de la variable temperatura, monitoreada por EMAs de la Red Agroclima en huertos; ii) determinar la calidad de los

datos registrados por sensores de temperatura ubicados en los huertos, y iii) determinar el área de influencia de los datos registrados por las EMAs en función de la distancia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica

El estudio se realizó en la Región de O'Higgins, Chile, en tres huertos de manzanos, ubicados en el fundo Chamonate (Comuna de Rosario) variedad Pink Lady; en el fundo Santa Emelina (Comuna de Codegua) variedad Pink Lady, y en el fundo La Rosa Sofruco (Comuna de Las Cabras) variedad Royal Gala. Las EMAs de la Red Agroclimática Nacional utilizadas fueron Codegua (34°6' S; 70°39' O) ubicada a 5,7 km del huerto Santa Emelina, Requinoa (34°19' S; 70°50' O) a 2,3 km del huerto de Chamonate, y Peumo Norte (34°19' S; 71°15' O) a 0,9 km del huerto La Rosa Sofruco. Se seleccionaron estos huertos considerando condiciones de instalación, mantención, acceso, buena exposición, conexión a internet, y distancias menores a 10 km del huerto (WMO, 2018; Castellanos-Acuña y Harmann, 2020).

### Clima

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 13,6°C, con una máxima media del mes más cálido (febrero) de 24,7°C y una mínima media del mes más frío (junio) de 5,4°C. El periodo libre de heladas es de 8 meses (octubre a mayo). La suma de temperaturas base 5°C, alcanza los 2.120 grados-día, y base 10°C de 1.328 grados-día. Las horas de frío, entre marzo y diciembre, suman 581 y la temperatura media mensual, se mantiene todo el año sobre 8°C. La precipitación anual es 897 mm, siendo julio el mes más lluvioso con 261,8 mm. La evaporación anual es de 1.330,2 mm, con un máximo de 223,4 mm en enero y mínimo de 27,3 mm en julio. La estación seca es de 5 meses, noviembre a marzo (Santibañez y Uribe, 1993).

### Instalación de sensores de temperatura

En cada huerto se seleccionaron dos árboles como puntos de monitoreo, el primero en una hilera de plantación a orilla del huerto, y el segundo en una hilera central, en zonas con vigor medio y alto, y características similares de altura, ancho de la copa medido en la mitad del dosel y vigor, según el NDVI (Índice de vegetación diferencial normalizada, por sus siglas en inglés). Se instalaron tres sensores iButton (DS1923, NCI Ltda, Dallas, USA) en posición externa, central e interna, con fecha 18 de noviembre de 2013, y en las EMAs el 2 de diciembre del mismo año,

ubicando el sensor iButton cercano y paralelo al sensor de temperatura de la EMA del huerto.

### Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar considerando 3 muestras independientes, en este caso huertos comerciales, que tenían instalada una estación meteorológica automática.

### Evaluaciones

**Distancia.** Se utilizó el software Google Earth, ubicando los puntos de los huertos y su EMA, luego se determinó la distancia entre la estación meteorológica y el árbol seleccionado.

**Temperatura.** La temperatura se midió con los sensores instalados en cada árbol en posición interna, central y externa, y en cada EMA del huerto. La toma de datos se inició el 18 de noviembre 2013 y el terminó el 28 de marzo de 2014. La frecuencia de medición fue cada 15 min y desde el día 8 de febrero se reprogramó a 30 min. El análisis de la temperatura promedio diaria se registró con una frecuencia horaria por los sensores según la posición del árbol, considerando una muestra de 33.131 datos en los tres huertos.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la Red Agroclima y de los sensores instalados en las EMAs fueron sometidos a un análisis de regresión lineal. Los datos registrados por los sensores en el dosel de los árboles se sometieron a los supuestos de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (test de Fisher) y luego al test no paramétrico de Kruskal-Wallis. Los análisis estadísticos se evaluaron con un nivel de confianza del 95%, utilizando el software estadístico InfoStat (Balzarini et al., 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis de temperatura de la Red Agroclima y sensores ubicados en las EMAs de los huertos

La comparación de temperaturas entre la Red Agroclima y los datos de los sensores instalados en cada estación meteorológica de la Región de O'Higgins presentaron correlaciones altas y positivas con  $R^2$  entre 0,89 y 0,96. La EMA Requinoa (Fig. 1) presentó un  $R^2 = 0,96$  y una desviación estándar (S) de 1,325 en relación al sensor. En el caso de la EMA Codegua (Fig. 2) el  $R^2 = 0,89$  se mantuvo alto, pero con una mayor dispersión y una desviación estándar (S) de 2,679.

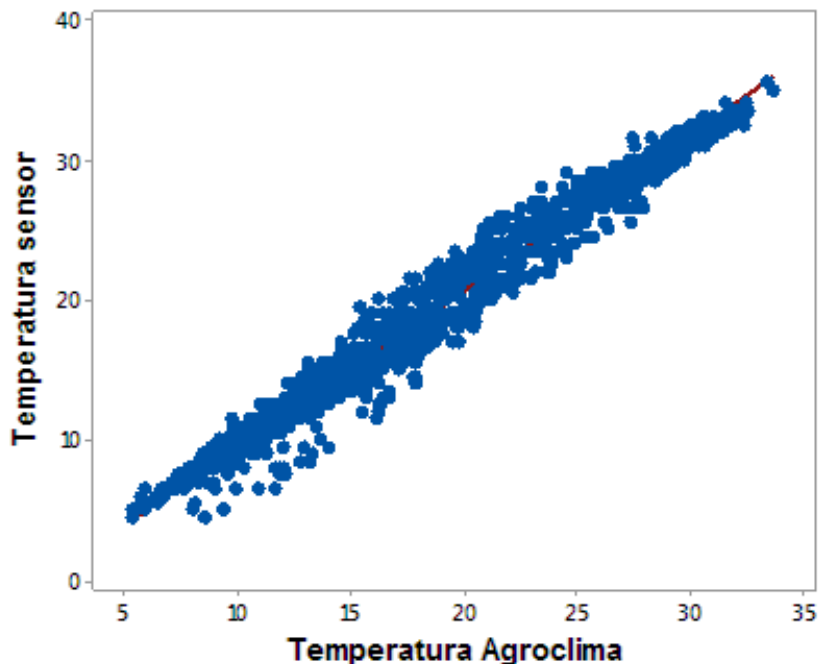


Fig. 1. Relación entre temperatura (°C) registrada por Agroclima y sensor instalado en el huerto del Fundo Chamonate, Sector Requinoa, Región de O'Higgins, Chile.  $Y = 1,0381 x$  ( $R^2 = 0,96$ )

Fig. 1. Relationship between the temperatures (°C) recorded by Agroclimate Network and the sensors installed in the orchard of Chamonate Farm, Requinoa sector, O'Higgins Region, Chile.  $Y = 1.0381 x$  ( $R^2 = 0.96$ ).

Similar correlación se obtuvo en la EMA Peumo Norte (Fig. 3) con un  $R^2 = 0,93$ , y una desviación estándar (S) de 1,852. El análisis de resultados de la regresión lineal indica correcta la ubicación de las EMAs de la Red Agroclima, lo que permite validar la calidad de los sensores instalados en cada estación, otorgando confiabilidad a los datos para ser usados en cálculos de evapotranspiración y evaluación de daños por estrés ambiental. Esto resultados son coincidentes con Velasco et al. (2015), quiénes al comparar los datos de temperatura de una estación meteorológica automática con dos estaciones comerciales instaladas, obtuvieron un  $R^2 = 0,91$  en un radio menor a 10 km.

### Análisis de temperatura en el dosel

En las Figs. 4 a 6 se presentan los registros de temperaturas máximas, mínimas y las oscilaciones de temperatura de los sensores instalados en la estación meteorológica y en el dosel del árbol central (externo, central e interno), durante el periodo que se realizó el ensayo.

En el árbol ubicado en la hilera central del huerto Chamonate (Fig. 4), el sensor interno registra temperaturas máximas más altas, en cambio las temperaturas mínimas son más

homogéneas entre los tres sensores, con una buena relación entre temperaturas de árboles y estación meteorológica. Es importante destacar que en el sensor (b) ubicado en el centro del árbol, la temperatura no tiene interrupciones como en los demás sensores, lo que se debió a una reprogramación que se realizó al momento de recopilar los datos, ya que los otros sensores tuvieron interrupciones por errores en la programación.

Para el árbol central del huerto Santa Emelina (Fig. 5), la mínima del sensor externo fue la misma registrada en el sensor externo del árbol anterior,  $3^{\circ}\text{C}$  para el 27 de noviembre, la máxima registrada fue  $37,5^{\circ}\text{C}$  el 04 de enero del 2014. Caso similar ocurre con el sensor centro (b), en donde la mínima fue de  $3,5^{\circ}\text{C}$  el 27 de noviembre y la máxima de  $33^{\circ}\text{C}$  para el día 21 de noviembre y 11 de enero. Lo mismo se repite para el sensor interno (c),  $3^{\circ}\text{C}$  el 27 de noviembre y  $33^{\circ}\text{C}$  para el día 11 de enero. Se puede observar que las temperaturas más altas se encuentran en el sensor de la estación meteorológica.

En el árbol central del huerto Sofrucu (Fig. 6) las variaciones de temperaturas son muy similares al resto de los sensores (Fig. 4 y 5). Se observa en el árbol que se encuentra en la hilera, una similitud

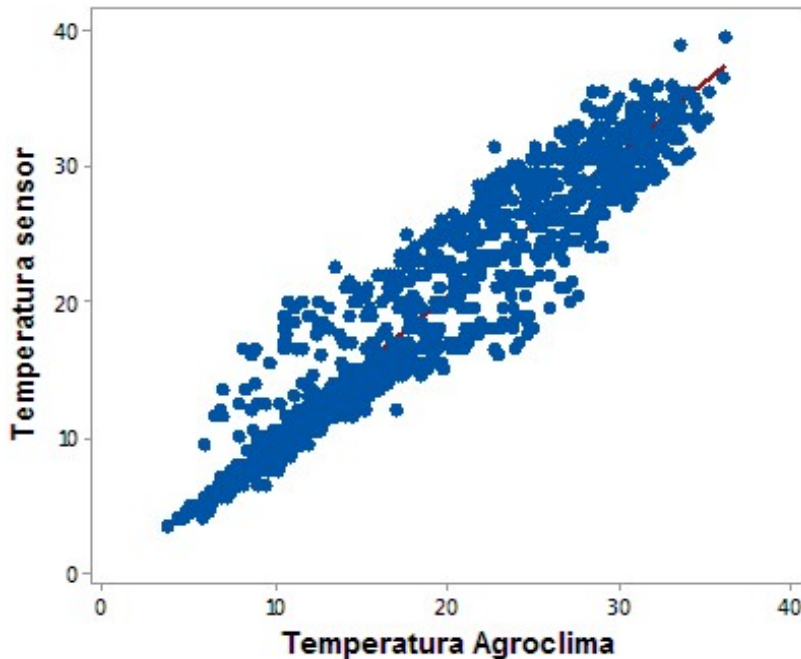


Fig. 2. Relación entre temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada por Agroclima y sensor instalado en el huerto del Fundo Santa Emelina, sector Codegua, Región de O'Higgins, Chile.  $Y = 0,9573 x$  ( $R^2 = 0,89$ )

Fig. 2. Relationship between the temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) recorded by Agroclimate Network and the sensors installed in the orchard of Santa Emelina Farm, Codegua sector, O'Higgins Region, Chile.  $Y = 0.9573 x$  ( $R^2 = 0.89$ ).

en temperaturas ya que la mínima es de 4°C el día 03 de abril a las 7:21 h. La máxima fue de 40°C el día 3 de diciembre a las 17:09 h, para el sensor del centro la mínima fue de 2°C el 27 de enero a las 4:03 h. Y la máxima se registró 40°C el día 29 de enero a las 18:18 h. En el sensor interno la mínima fue de 4°C para el día 03 de abril a las 7:23 am y la máxima de 34°C el día 29 de enero a las 17:34 h.

En general los registros de temperaturas en función de la posición de los sensores en el árbol

son bastante similares en valores y variaciones a través de la temporada y la desviación estándar es baja y homogénea, lo que refleja la buena representatividad de los datos de los sensores de temperaturas, al compararlos con los valores de las EMAs de los huertos.

#### Análisis de temperatura según posición del sensor

En la Tabla 1 se analizan las temperaturas

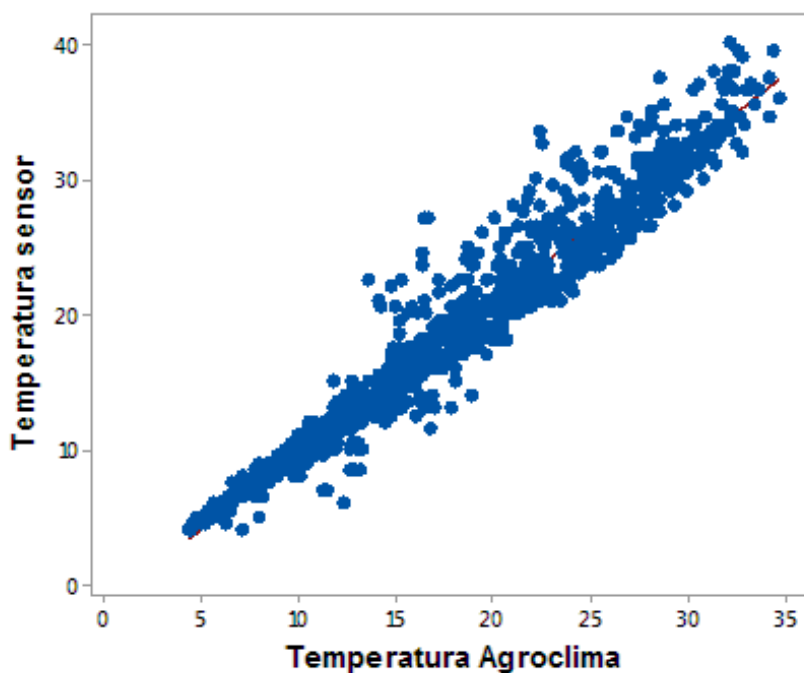


Fig. 3. Relación entre temperatura (°C) registrada por Agroclima y sensor instalado en el huerto del Fundo La Rosa Sofruco, sector Peumo Norte, Región de O'Higgins, Chile.  $Y = 0,9542 x$  ( $R^2 = 0,93$ ).

Fig. 3. Relationship between the temperatures (°C) recorded by Agroclimate Network and the sensors installed in the orchard of La Rosa Sofruco Farm, Northern Peumo sector, O'Higgins Region, Chile.  $Y = 0.9542 x$  ( $R^2 = 0.93$ ).

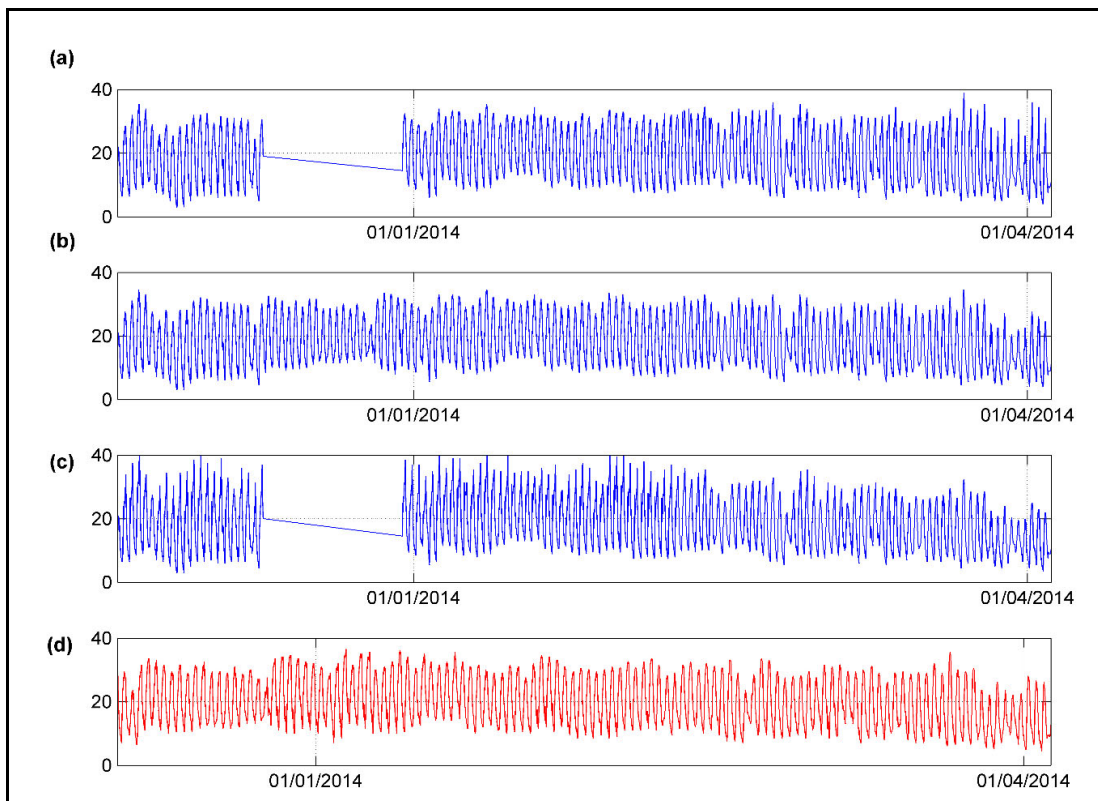
Tabla 1. Temperatura del dosel según la ubicación del árbol y posición del sensor en dos huertos de manzanos, Región de O'Higgins, Chile.

Table 1. Canopy temperature according to tree location and sensor position in two apple orchards, O'Higgins Region, Chile.

Huerto	Árbol	Temperatura dosel (°C)			Desviación estándar		
		Int.	Cen.	Ext.	Int.	Cen.	Ext.
Chamonate	Orilla	20,6A	20,0A	19,9A	2,0	1,9	1,9
	Central	18,5A	18,9A	18,2A	2,8	2,5	2,5
Sta Emelina	Orilla	19,0A	19,1A	19,5A	2,8	2,7	2,8
	Central	18,5A	18,7A	18,8A	2,8	2,8	2,8

Int.: Interno; Cen.: Central; Ext.: Externo.

Medias con letras mayúsculas similares en la misma fila no son significativamente diferentes según prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).



**Fig. 4. Registro de temperaturas en el árbol al centro del huerto en función de posición del sensor y EMA. Fundo Chamonate, sector Requinoa, Región de O'Higgins, Chile.**

**Fig. 4. Temperatures in the central-row tree recorded by the sensors installed in the inner, central and outer canopy, and AWS. Chamonate Farm, Requinoa sector, O'Higgins Region, Chile.**

a: sensor externo; b: sensor centro; c: sensor interno; d: EMA Requinoa (EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station)

promedio de los sensores instalados en posición interna, central y externa del dosel, pero sin considerar el huerto Sofrucu, ya que los árboles estaban ubicados en la misma hilera. En el huerto Chamonate, los sensores poseen una diferencia de temperatura de  $0,7^{\circ}\text{C}$  en el árbol orilla del huerto, resultando mayor en el sensor interno. En el caso del árbol central del huerto, existe una diferencia de  $0,7^{\circ}\text{C}$ , siendo mayor en el sensor centro. En Santa Emelina el diferencial de temperatura entre sensores del árbol orilla es de  $0,5^{\circ}\text{C}$  y en el árbol central de  $0,3^{\circ}\text{C}$  con valores más altos en el sensor externo.

Respecto de la comparación de temperaturas, en el huerto Chamonate las temperaturas mayores se obtienen en el sensor interno  $20,6^{\circ}\text{C}$  del árbol orilla y  $18,9^{\circ}\text{C}$  en el sensor central, y menores en el sensor del centro  $20^{\circ}\text{C}$  del árbol orilla y  $18,2^{\circ}\text{C}$  en el sensor externo del árbol central. En el predio Santa Emelina la temperatura más alta se registró en los sensores externos  $19,5^{\circ}\text{C}$  árbol orilla y  $18,8^{\circ}\text{C}$  del árbol central. Sin embargo, las diferencias de temperaturas según la posición del

sensor no fueron significativas.

La ubicación del árbol en la hilera de la orilla y central del huerto también incide en la temperatura del dosel. El análisis de los resultados de la Tabla 2 indican que en el huerto Chamonate existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el árbol que se encuentra en la orilla y central del huerto, siendo la temperatura mayor en el árbol de la orilla con un valor de  $20,1^{\circ}\text{C}$  en comparación al árbol del centro con  $18,5^{\circ}\text{C}$ . En cambio, en el huerto Santa Emelina, no se observaron diferencias significativas entre árbol orilla y central, con medias de  $19,2^{\circ}\text{C}$  y  $18,7^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Estos resultados indican que la mejor posición del sensor corresponde al árbol central del huerto, ya que refleja en forma más representativa la temperatura del dosel con fines productivos y de investigación, y no estaría sometido a efecto borde.

#### **Análisis de distancias entre las estaciones meteorológicas y la ubicación de los árboles**

La densidad y distancia entre estaciones es

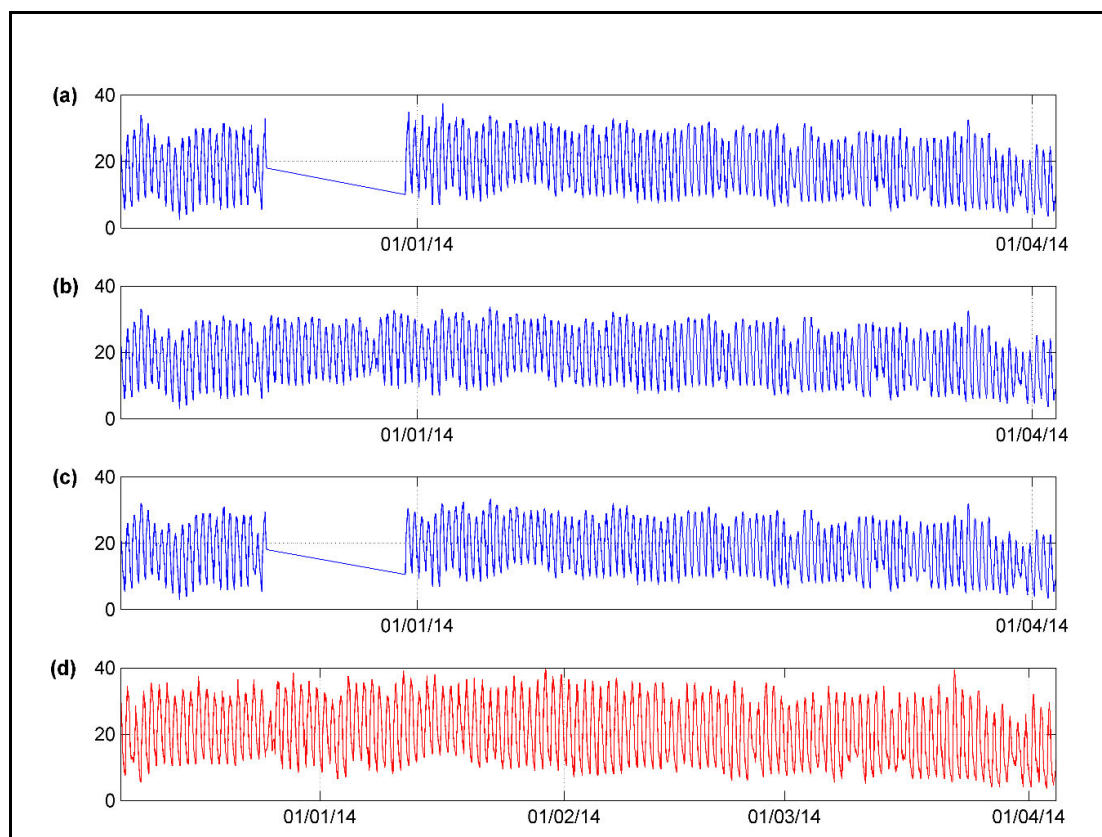


Fig. 5. Registros de temperaturas en el árbol del centro del huerto en función de la posición del sensor en el árbol y EMA. Fundo Santa Emelina, sector Codegua, Región de O'Higgins, Chile.

Fig. 5. Temperatures recorded in the central tree of the orchard as a function of sensors position and AWS. Santa Emelina Farm, Codegua sector, O'Higgins Region, Chile.

a: sensor externo; b) sensor centro; c) sensor interno; d) EMA (EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station)

Tabla 2. Análisis de temperatura del dosel entre árboles ubicados en las hileras orilla y central del en dos huertos de manzanos, Región de O'Higgins, Chile.

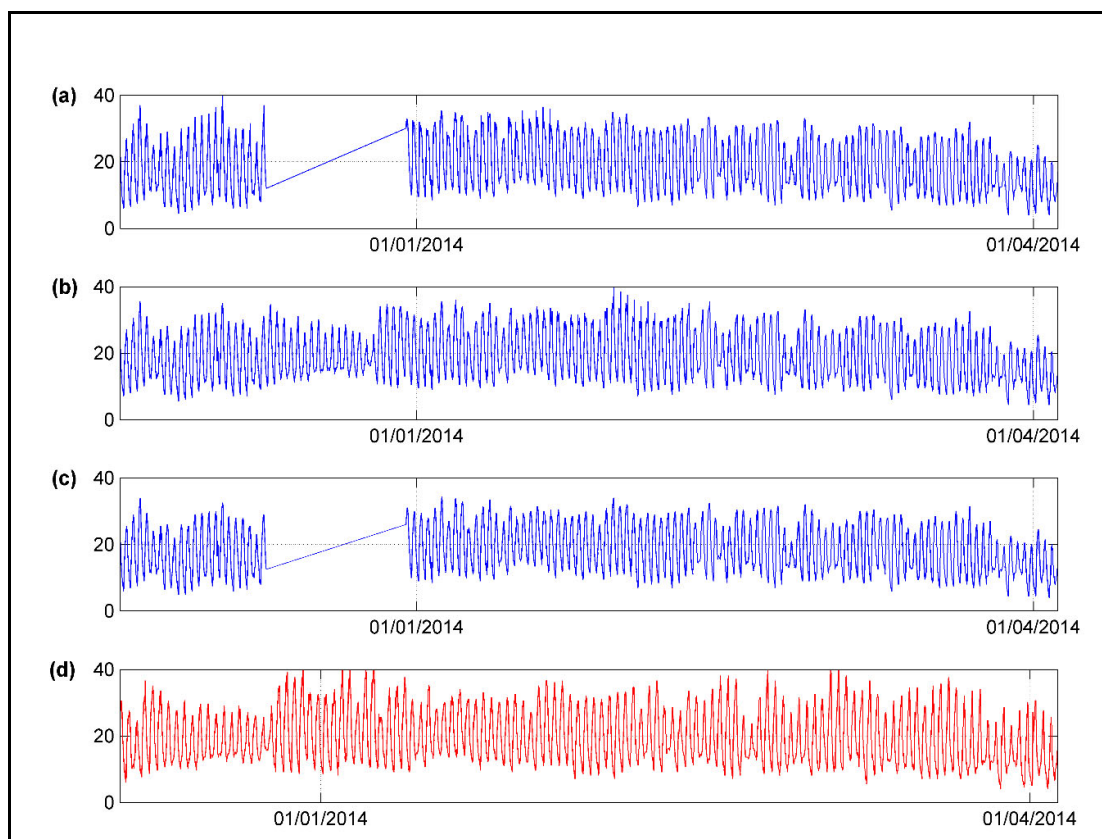
Table 2. Canopy temperature analysis between trees of edge and central-row in two apple orchards, O'Higgins Region, Chile.

Huerto	Árbol	Temperatura dosel (°C)	Desviación estándar
Chamonate	Orilla	20,1A	1,9
	Central	18,5B	2,5
Sta. Emelina	Orilla	19,2A	2,8
	Central	18,7A	2,8

Medias con letras mayúsculas similares en la misma columna no son significativamente diferentes según prueba de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

un factor clave para analizar la consistencia de los datos de temperatura (Ramirez-Villegas y Challinor, 2012; Velasco, 2015; Gentilucci et al., 2018) En esta investigación las estaciones meteorológicas seleccionadas estuvieron ubicadas a distancias menores de 10 km (Tabla 3).

El análisis de la Tabla 3 permite determinar diferencias según la posición del árbol y EMA que fluctúan entre 0.4 a 1,7°C. En el huerto Santa Emelina, la temperatura de los árboles es inferior en 1,2°C en la orilla y 1,8°C en el centro, con respecto a la estación meteorológica automática



**Fig. 6. Registro de temperaturas en el árbol del centro del huerto en función de la posición del sensor en el árbol y EMA. Fundo La Rosa Sofruco, sector Peumo Norte, Región de O'Higgins, Chile.**

**Fig. 6. Temperatures recorded in the central tree of the orchard as a function of sensor position and AWS. La Rosa Sofruco Farm, Northern Peumo sector, O'Higgins Region, Chile.**

a: sensor externo; b: sensor centro; c: sensor interno; d: EMA Peumo Norte (EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station)

**Tabla 3. Temperaturas promedio de árboles y EMA en función de la distancia en tres huertos de manzanos en la Región de O'Higgins, Chile.**

**Table 3. Tree temperature average and AWS as relation to distance in three apple orchards, O'Higgins Region, Chile.**

EMA	Huerto	Árbol	Dist (km)	T° árbol	T° EMA	$\Delta T$ Arbol vs EMA
Codegua	Sta Emelina	Orilla	5,7	19,2	20,4	1,2
Codegua	Sta Emelina	Central	5,7	18,6	20,4	1,7
Requinoa	Chamonte	Orilla	2,3	20,2	19,8	0,4
Requinoa	Chamonte	Central	2,3	18,5	19,8	1,3
Sofruco	Sofruco	Orilla	0,9	18,4	19,4	1,0
Sofruco	Sofruco	Central	0,9	18,9	19,4	0,5

T°: temperatura; EMA: estación meteorológica automática;  $\Delta T_{ARB vs EMA}$ : diferencial de temperatura entre árbol y EMA. (EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station)



(EMA), en el huerto Chamonate el árbol orilla es superior en 0,4°C y el árbol central es inferior en 1,3°C. Por su parte en el huerto Sofruco los árboles orilla y central, son inferiores en 1,0 y 0,5°C a la temperatura de la EMA, respectivamente. En general no hay una relación entre distancias de las EMAs y temperaturas de los árboles, ya que las diferencias de temperaturas según posición del árbol son muy similares, con valores de 0,6°C en una distancia de 5,7 km en Santa Emelina, y de 0,5°C en 0,9 km en Sofruco, excepto en Chamonate con distancia de 2,3 km y diferencial de 1,7°C. Se puede constatar que las temperaturas promedio son más altas en las estaciones meteorológicas que

en los árboles (Fig. 7), lo que puede ser explicado por una reducción de la temperatura ambiente y aumento en la humedad relativa, por el efecto de sombreado y evapotranspiración en el huerto y la exposición de la EMA a la radiación solar directa (WMO, 2018). Esto coincide con Qu et al. (2015) quienes determinaron que la temperatura interior del dosel es más baja que la de los árboles ubicados en el exterior del huerto, debido a que la intensidad de radiación entrante y la dirección de plantación provocan un autosombreado causado por los árboles vecinos.

En la Tabla 4 se presenta la comparación entre las temperaturas medias de los árboles

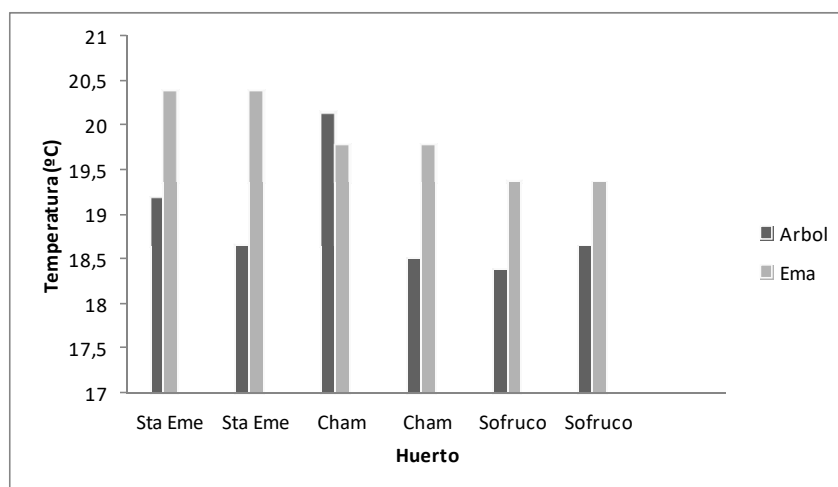


Fig. 7. Comparación de la temperatura promedio de los árboles con las EMAs, en tres huertos de manzanos, de la Región O'Higgins, Chile.

Fig. 7. Comparison of the tree average temperature and AWS in three apple orchards, of the O'Higgins Region, Chile.

EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station.

Tabla 4. Comparación de la temperatura promedio de los árboles (hilera orilla y central) registrada por los sensores en posición interna, central y externa del dosel y las EMAs, en tres huertos de manzanos, Región de O'Higgins, Chile.

Table 4. Comparison between the average temperatures (edge and central row trees) recorded by the sensors installed in the inner, central and outer canopy, and AWS, in three apple orchards, O'Higgins Region, Chile.

Huerto	Árbol	Temperatura (°C)			EMA	ΔT sensor vs EMA			n
		Int.	Cen.	Ext.		Int.	Cen.	Ext.	
Chamonate	Orilla	20,6	19,9	20,0	19,7	0,9	0,2	0,3	95
Chamonate	Central	18,5	18,2	18,9	19,7	1,2	1,5	1,8	120
Sta Emelina	Orilla	19,0	19,5	19,1	20,2	1,2	0,7	1,1	119
Sta Emelina	Central	18,5	18,8	18,7	20,2	1,7	1,4	1,5	120
Sofruco	Orilla	18,1	19,0	18,5	19,3	1,2	0,3	0,8	119
Sofruco	Central	18,4	19,1	19,1	19,3	0,9	0,2	0,2	119

EMA: estación meteorológica automática; AWS: automatic weather station;

ΔT sensor vs EMA: diferencial de temperatura sensor vs EMA, n: número de mediciones.

de las hileras orilla y central versus sus respectivas EMAs, observándose diferenciales de temperatura entre 0,9 a 1,8°C, siendo el sensor central el que presenta las menores diferencias, entre 0,2 y 1,5°C, lo que otorga confiabilidad a los datos generados por las estaciones meteorológicas.

Además, los resultados de las Tablas 3 y 4 son coincidentes con Arteaga-Ramírez et al. (2017) y Tsinko et al. (2018), quienes determinaron diferencias de temperatura entre 0 y  $\pm 2^\circ\text{C}$  al comparar valores de temperatura entre estaciones meteorológicas a una distancia de 1,5 km, obteniendo coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superior a 0,9.

Con respecto a las distancias entre el huerto y las EMAs de la Red Agroclima, no se detectaron mayores diferencias en las temperaturas registradas en las distancias evaluadas, por lo que es posible establecer que las EMAs entrega datos confiables y representativos para condiciones agroecológicas similares hasta un radio de 5,7 km. Al respecto, Wang et al. (2010) reportan que los datos de temperatura muestran una alta correlación entre registros de estaciones cercanas. Por su parte, Velasco et al. (2015) obtuvieron una buena validación de temperatura entre estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en un radio menor a 10 km, lo que coincide con los resultados de esta investigación. Sin embargo, Ramírez-Villegas y Challinor (2012) destacan que la densidad de estaciones no puede ser el factor determinante, sino que es necesario conocer la naturaleza de la variable meteorológica, topografía, errores en mediciones y limitaciones sociales que impidan el acceso al sitio de instalación.

## CONCLUSIONES

Las temperaturas monitoreadas por los sensores ubicados en las estaciones meteorológicas de los huertos presentaron una buena correlación con la Red Agroclima Nacional. La temperatura de los sensores instalados dentro del dosel del árbol de manzano (interno, central y externo) no presentaron diferencias significativas. La distancia de la EMA con respecto a los huertos evaluados no tuvo incidencia en el registro de los datos y su representatividad alcanza hasta 5,7 km. Estos resultados son relevantes para mejorar la utilización de las estaciones meteorológicas automáticas en aplicaciones locales por los agricultores en la zona del estudio, ya que determinaron una adecuada representatividad de los datos en función de la distancia. Estas validaciones deben realizarse para todas las

estaciones de la Red Agroclima Nacional debido a la alta variabilidad de las condiciones climáticas y topográficas de Chile.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los Sres. Isaac Maldonado, INIA Quilimapu, Luis Soto, Universidad del Bío Bío, y Luis Morales, Universidad de Chile.

## LITERATURA CITADA

- Arteaga-Ramírez, R., R. Corvalán-Osornio, M.A. Vásquez-Peña y W. Ojeda-Bustamante. 2017. Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas en índices estadísticos Chapingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6):1301-1314.
- Balzarini, M.G., L. González, M. Tablada, F. Casanoves, J.A. Di Rienzo y C.W. Robledo. 2008. InfoStat: software estadístico. Manual del usuario. Versión 2008. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Castellanos-Acuña, D., and A. Harmann. 2020. A cross-checked global monthly weather station database for precipitation the period 1901-2010. *Geoscience Data Journal* 7(1):27-37.
- Estévez, J., P. Gavilán, and J.V. Giráldez. 2011. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *J. Hydrol.* 402(1-2):144-154.
- Estévez, J., A.P. García-Marín, J.A. Morábito, and M. Cavagnaro. 2016. Quality assurance procedures for validating meteorological input variables of reference evapotranspiration in Mendoza Province (Argentina). *Agric. Water Manage.* 172:96-109.
- Gentilucci, M., M. Barbieri, P. Burt and F. D'Aprile. 2018. Preliminary data validation and reconstruction of temperature and precipitation in central Italy. *Geosciences* 8:202-218.
- Lagouvardos, K., V. Kotroni, A. Bazes, T. Kopania, S. Lykoudus, N. Mazarakis, K. Papagiannaki, S. Vougioukas. 2017. The automatic weather stations NOANN networks of the National Observatory of Athens: operations and database. *Geoscience Data Journal* 4(1):4-16.
- ODEPA. 2013. Red Agroclimática Nacional. Disponible en <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/noticias/noticias-institucionales>. (Consulta 28 Septiembre 2020)

- Qu, Z.J., X.N. Shang, J.H. Wang, Y Liang, and F. Gao. 2015. Vertical temperatura distribution and its forecast for two tree structures of apple orchard during the blooming period in the Loess Plateau. *Yong Sheng Tai Xue Bao* 26(1):3405-3412.
- Ramirez-Villegas, J., and A. Challinor. 2012. Assessing relevant climate data for agricultural applications. *Agric. For. Meteorol.* 161:26-45.
- Santibañez, F. y J.M. Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones Sexta Séptima Octava y Novena. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
- Tsinko, Y., A. Bakhshaii, E.A. Johnson, and Y.E. Martin. 2018. Comparisons of fire weather indices using Canadian raw and homogeneized weather data. *Agric. Forest. Met.* 262(15):110-119.
- Velasco, V.D., F.G. Flores, G. González, M.J. Flores, y H.A. Moreno. 2015. Desarrollo validación de una estación meteorológica automatizada de bajo costo dirigida a la agricultura. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(6):1253-1264.
- Wang, X.L., H. Chen, Y. Wu, H.Y. Feng, and Q. Pu. 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 49(12):2416-2436.
- WMO. 2018. Guide to meteorological instruments and methods of observation. (7th. ed.). WMO N°8. World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland.