



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Arteaga-Ramírez, Ramón; Cervantes-Osornio, Rocio; Vázquez Peña, Mario Alberto;  
Ojeda Bustamante, Waldo  
Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas con  
índices estadísticos Chapingo, México  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 6, agosto-septiembre, 2017, pp.  
1301-1314  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153306006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Estación meteorológica convencional *versus* automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos Chapingo, México\*

### Conventional *versus* automatic weather station evaluated differences with statistical indexes Chapingo, Mexico

Ramón Arteaga-Ramírez<sup>1</sup>, Rocio Cervantes-Osornio<sup>2§</sup>, Mario Alberto Vázquez Peña<sup>1</sup> y Waldo Ojeda Bustamante<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Irrigación. Sección Meteorología Agrícola. Carretera México-Texcoco km 38.5. Estado de México, México. CP. 56230. Tel: 01 (595) 9521500, ext. 5157. (rarteagar@taurus.chapingo.mx; mvazquezp@correo.chapingo.mx). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230, AP. 307 y 10. Tel. 01 (800) 0882222, ext. 85565. (cervantes.osornio@gmail.com). <sup>3</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. CP. 62550. Tel. 01 (777) 3293600, ext. 445 (wojeda@tlaloc.imta.mx). Autora para correspondencia: §rcervanteso@hotmail.com.

## Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar la comparación de los datos meteorológicos medidos por una estación convencional contra los mismos obtenidos por una automática, ambas estaciones están ubicadas en la Universidad Autónoma Chapingo, estos datos fueron: temperatura máxima, mínima, humedad relativa máxima y mínima, colectados de manera diaria y analizados de forma gráfica y estadística, por medio del coeficiente de inconsistencia y consistencia, la raíz cuadrada del cuadrado medio del error y normalizado, el índice de concordancia o Willmott, el coeficiente de determinación, un análisis de regresión, error sistemático y error aleatorio, el periodo comprendido de enero 2004 a junio, 2013. Se encontró, que para las variables temperatura máxima y temperatura mínima, se pueden usar indistintamente los datos de la estación meteorológica automática o los de la convencional ya que los datos son semejantes.

**Palabras clave:** comparación, convencional, estación automática.

## Abstract

The objective of this research was to compare the meteorological data measured by a conventional station against the same but obtained by an automatic one, both stations are located at Universidad Autónoma Chapingo, these data were: maximum temperature, minimum, maximum relative humidity and minimum, theses were collected on a daily basis and analyzed graphically and statistically, by means of the inconsistency and consistency coefficient, the square root of the mean square error and normalized, the concordance index or Willmott, the determination coefficient, a regression analysis, systematic error and random error, of the period from January 2004 to June, 2013. It was found that for the variables maximum temperature and minimum temperature, the data of the automatic meteorological station or those of the conventional one can be used without distinction since the data are similar.

**Keywords:** automatic station, comparison, conventional.

\* Recibido: abril de 2017  
Aceptado: junio de 2017

## Introducción

La disponibilidad de información meteorológica confiable y representativa de una zona contribuye a una buena planificación en urbanismo, ingeniería o en ordenación del territorio, también es utilizada para análisis del tiempo, pronóstico, advertencias de clima extremo, en operaciones locales que dependen del clima (operaciones en aeropuerto o vuelo, trabajos de construcción sobre tierra y mar). En la agricultura es importante para: la estimación de evapotranspiración de referencia, para estimar el consumo hídrico. Las variables o elementos climatológicos en una estación meteorológica esenciales a medir son: temperatura, humedad del aire, viento, radiación solar, precipitación y evaporación, resulta necesario determinar el valor de la información recogida en relación con su utilidad y finalidad de la misma y los instrumentos de medida deben estar homologados, ser robustos y estar bien calibrados (Romo y Arteaga, 1989; WMO, 1993; Elías y Castellví, 2001; Texeira *et al.*, 2003; WMO, 2008; Funari *et al.*, 2010).

Los servicios meteorológicos han utilizado tradicionalmente estaciones convencionales (EC) pero en los últimos años el uso de las estaciones automáticas (EA) ha venido en aumento. Las estaciones automáticas contribuyen a mejorar la normalización de la información meteorológica, ya que con ellas se eliminan algunos problemas del sistema tradicional tales como la subjetividad del observador y los errores de digitación (Ureña-Elizondo, 2011; SE, 2013). En México el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), reporta que en el periodo de 1990 a 2004 tenía 94 estaciones automáticas y de 2005 a 2010 se amplió la red de estaciones automáticas a 133 y además se instalaron 30 estaciones sinópticas automáticas (CONAGUA, 2010).

Sin embargo, la WMO (1993) establece que se debe tener una operación paralela entre estaciones convencionales y automáticas e indica que un año de medidas simultáneas no es suficiente y recomienda que operen por lo menos dos años según la región climática, por su parte la WMO (2008) puntualiza que cuando una EA va a reemplazar a una EC que estuvo operando durante un periodo prolongado, debe existir suficiente traslape entre las observaciones de ambas estaciones dependiendo de la variable que se trate, se recomiendan 12 meses para la velocidad y dirección del viento, 24 para temperatura, humedad, insolación y evaporación, y 60 para precipitación o como regla general medir en forma paralela por lo menos dos periodos estacionales (24 meses).

## Introduction

The availability of reliable and representative meteorological information for an area contributes to good planning in urban planning, engineering or land-use planning. It is also used for weather analysis, forecasting, extreme weather warnings, local operations that depend on climate (in the airport or a flight, construction works on land and sea). In agriculture it is important for: the estimation of reference evapotranspiration, to estimate the water consumption. The essential variables or climatic elements in an meteorological station to be measured are: temperature, air humidity, wind, solar radiation, precipitation and evaporation, it is necessary to determine the value of the collected information in relation to its usefulness and purpose and the measuring instruments must be approved, be robust and well calibrated (Romo and Arteaga, 1989; WMO, 1993; Elias and Castellvi, 2001; Texeira *et al.*, 2003; WMO, 2008; Funari *et al.*, 2010).

Meteorological services have traditionally used conventional stations (EC) but in recent years the use of automatic stations (AE) has been increasing. The automatic stations contribute to improve the standardization of meteorological information, since they eliminate some problems of the traditional system such as observer subjectivity and typing errors (Ureña-Elizondo, 2011, SE, 2013). In México, the Servicio Meteorológico Nacional (SMN) reports that in the period from 1990 to 2004 there were 94 automatic stations and from 2005 to 2010 the network of automatic stations was expanded to 133 and 30 automatic synoptic stations were installed (CONAGUA, 2010).

However, WMO (1993) states that there must be a parallel operation between conventional and automatic stations and indicates that a year of simultaneous measures is not sufficient and recommends that they operate for at least two years according to the climatic region, WMO (2008) points out that when an EA is going to replace an EC that has been operating for an extended period, there must be enough overlap between the observations of both stations depending on the variable in question, 12 months are recommended for speed and direction of the wind, 24 for temperature, humidity, insolation and evaporation, and 60 for precipitation or as a general rule to measure in parallel for at least two seasonal periods (24 months).

La estación meteorológica ubicada en el área de Meteorología Agrícola del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), registra datos en su estación convencional desde el año 1924 al presente e inicio de manera automática en el año 2003. Sin embargo, resulta necesario comparar la información de una estación convencional y una automática, tal como lo menciona la World Meteorological Organization (WMO, 2008), además es importante minimizar el efecto del cambio de algún instrumento en la medición antes de sustituir las observaciones que se obtienen con el instrumento nuevo.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue comparar los datos diarios de: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima y humedad relativa mínima, medidos de forma convencional contra sus simultáneos medidos de manera automática, por medio de un análisis gráfico y de diferentes indicadores estadísticos, para las estaciones meteorológicas automática (EA) y convencional (EC), ubicadas en la sección de Meteorología Agrícola del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

## Materiales y métodos

La obtención de la información que se utilizó en el presente trabajo fue en dos etapas en la primera, se obtuvieron datos diarios de la estación meteorológica convencional de humedad relativa máxima, humedad relativa mínima, temperatura máxima y temperatura mínima (finales de enero 2004 a junio de 2013), en la segunda, se obtuvieron los mismos datos con la estación automática, ya que esta registra sus datos por periodos de treinta minutos de cada día del año, se calcularon los datos por día, para todo el año y para el periodo indicado.

El pre procesamiento de los datos de manera diaria se llevó a cabo con Excel de Microsoft Office®, y las gráficas presentadas se generaron a partir del Matlab®. Las coordenadas de la estación son: latitud 19° 29' 05" norte, altitud 2 250 msnm y longitud 98° 53' 11". Las especificaciones técnicas de los diferentes instrumentos para la medición de las diferentes variables, así como su elemento sensor se muestra en el Cuadro 1 de las estaciones meteorológicas automática y convencional.

The meteorological station located in the area of Meteorología Agrícola del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), records data in its conventional station since 1924 until today and began automatically in the year 2003. However, it is necessary to compare information from a conventional and an automatic station, as mentioned by the World Meteorological Organization (WMO, 2008), it is also important to minimize the effect of changing an instrument in the measurement before replacing the observations obtained with the new instrument.

According to the above, the objective of this paper was to compare the daily data of: maximum temperature, minimum temperature, maximum relative humidity and minimum relative humidity, measured in a conventional way against simultaneous measured automatically by means of a graphic analysis and different statistical indicators for automatic (EA) and conventional (EC) meteorological stations, located at the section of Meteorología Agrícola del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

## Materials and methods

The data used for this paper were obtained in two stages in the first one, daily data were obtained from the conventional meteorological station of maximum relative humidity, minimum relative humidity, maximum temperature and minimum temperature (end of January 2004 to June of 2013), in the second, the same data were obtained with the automatic station, since it records its data for periods of thirty minutes of each day of the year, data were calculated per day, for the whole year and for the indicated period.

Pre-processing of the data on a daily basis was carried out with Microsoft Office Excel®, and the shown graphs were generated from Matlab®. The coordinates of the station are: north latitude 19° 29' 05", altitude 2 250 masl and longitude 98° 53' 1". The technical specifications of the different instruments for the measurement of the different variables, as well as its sensor element are shown in Table 1 for the automatic and conventional meteorological stations.

**Cuadro 1. Especificaciones técnicas de los sensores de la estación convencional y automática de la estación agrometeorológica del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo.**

**Table 1. Technical specifications of the sensors of the conventional and automatic station of the agrometeorological station of the Department of Irrigation of the Universidad Autónoma Chapingo.**

Estación	Variable	Elemento sensible	Modelo/marca	Precisión
Convencional	Temperatura máxima	Termómetro, mercurio	Wilh Lambrecht	±0.2 °C
Convencional	Temperatura mínima	Termómetro, alcohol	Wilh Lambrecht	±0.3 °C
Convencional	Humedad relativa máxima	Psicrómetro bulbo seco y húmedo, mercurio	Wilh Lambrecht	±0.2 °C
Convencional	Humedad relativa mínima	Psicrómetro bulbo seco y húmedo, mercurio	Wilh Lambrecht	±0.2 °C
Automática	Temperatura máxima	Termistor	Groweather Davis	±0.5 °C
Automática	Temperatura mínima	Termistor	Groweather Davis	±0.5 °C
Automática	Humedad relativa máxima	Termistor	Groweather Davis	±5%
Automática	Humedad relativa mínima	Termistor	Groweather Davis	±5%

**Estadísticos utilizados para evaluar la comparación de EA versus EC**

Para comparar los datos meteorológicos de la estación automática contra sus simultáneos de la convencional se utilizaron como indicadores estadísticos: el coeficiente de inconsistencia ( $C_I$ ), el coeficiente de consistencia ( $C_C$ ), el índice de concordancia o Willmott ( $d$ ), la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME) y normalizada (RCCMEN), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error sistemático ( $E_s$ ) y el error aleatorio ( $E_a$ ), adicionalmente se realizó un análisis por regresión lineal simple con ordenada al origen, y se graficaron las diferencias de EA menos EC para cada una de las variables de estudio. A continuación se describen estos estadísticos:

Coeficiente de inconsistencia y consistencia.

$$C_I = \frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)}$$

Donde:  $C_I$ = coeficiente de inconsistencia, adimensional;  $V$ = representa el operador estadístico-matemático de la varianza;  $X$  es el valor de la variable a partir de la medición automática y  $X^*$  el valor de la variable a partir de la medición convencional (Gattinoni *et al.*, 2011) y  $C_C = 1 - C_I$  donde  $C_C$  es el coeficiente de consistencia, adimensional.

Colotti *et al.* (2003) indican que si no existe correlación lineal entre los dos conjuntos de mediciones  $C(X, X^*) = 0$  y se tendrá que:

**Statistical used to evaluate the comparison of EA versus EC**

To compare the meteorological data of the automatic station against its conventionally obtained concurrent were used as statistical indicators: the inconsistency coefficient ( $C_I$ ), the consistency coefficient ( $C_C$ ), the concordance index or Willmott ( $d$ ), the square root of the mean square error (RCCME) and normalized (RCCMEN), the determination coefficient ( $R^2$ ), the systematic error ( $E_s$ ) and random error ( $E_a$ ), further analysis was performed by simple linear regression with ordinate to the origin, and the differences of EA minus EC for each of the study variables were plotted. These statistics are described below:

Inconsistency and consistency coefficient.

$$C_I = \frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)}$$

Where:  $C_I$ = is the coefficient of inconsistency, dimensionless;  $V$ = represents the statistical-mathematical operator of the variance;  $X$  is the value of the variable from the automatic measurement and  $X^*$  the value of the variable from the conventional measurement (Gattinoni *et al.*, 2011) and  $C_C = 1 - C_I$ , where  $C_C$  is the coefficient of consistency, dimensionless.

Colotti *et al.* (2003) indicate that if there is no linear correlation between the two sets of measurements  $C(X, X^*) = 0$  then:

$$\frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)}=1$$

Además demuestran que si  $r=0$ , no existe correlación lineal alguna entre los conjuntos muestrales y, por tanto, las mediciones son relativamente independientes. Es decir, existe una total incompatibilidad o inconsistencia entre los registros de una estación convencional y los de una automática. Por otro lado si la correlación lineal,  $r$ , fuese igual a 1, implica que  $X=X^*$  y por ende,  $V(X-X^*)=0$ , esto significa que el coeficiente de inconsistencia, según la ecuación anterior es cero. En síntesis el coeficiente de inconsistencia variara del siguiente modo según Colotti *et al.* (2003):

Si  $r(X, X^*)=1 \Rightarrow C_i=0 \Rightarrow$  muestras linealmente dependientes.  
Si  $r(X, X^*)=0 \Rightarrow C_i=1 \Rightarrow$  muestras totalmente independientes.

Índice de Willmott o de concordancia.

$$d=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}\right]$$

Donde:  $d$ = índice de concordancia o Willmott (Willmott *et al.*, 1985);  $P_i$ = datos recolectados de la EC;  $O_i$ = datos recolectados de la EA;  $\bar{O}$ = promedio de los datos de la EA;  $n$ = número total de datos.

Raíz cuadrada del cuadrado medio del error y normalizada.

$$RCCME=\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2\right]^{0.5}$$

$$RCCMEN=RCCME\left(\frac{100}{\bar{O}}\right)$$

Donde:  $RCCME$ = es la raíz cuadrada del cuadrado medio del error;  $RCCMEN$ = es la raíz cuadrada del cuadrado medio del error normalizado (Pereira *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2010).

Coeficiente de correlación y determinación. El coeficiente de correlación,  $R$ , está dado por.

$$R=\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\left\{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2\right]\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2\right]\right\}^{1/2}}$$

$$\frac{V(X-X^*)}{V(X)+V(X^*)}=1$$

Also demonstrate that if  $r=0$ , there is no linear correlation between the sample sets and therefore measurements are relatively independent. That is, there is a total incompatibility or inconsistency between the records of a conventional station and those of an automatic station. On the other hand if the linear correlation,  $r$ , was equal to 1, it implies that  $X=X^*$  and therefore  $V(X-X^*)=0$ , this means that the coefficient of inconsistency, according to the above equation is zero. In summary inconsistency coefficient according Colotti *et al.* (2003) would vary as follows:

If  $r(X, X^*)=1 \Rightarrow C_i=0 \Rightarrow$  linearly dependent samples.  
If  $r(X, X^*)=0 \Rightarrow C_i=1 \Rightarrow$  totally independent samples.

Willmott or concordance index.

$$d=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}\right]$$

Where:  $d$ = the concordance index or Willmott (Willmott *et al.*, 1985);  $P_i$ = is the data collected from the EC;  $O_i$ = is the data collected from the EA;  $\bar{O}$ = is the average data value of EA;  $n$ = is the total number of data.

Square root of the mean square of the error and normalized.

$$RCCME=\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2\right]^{0.5}$$

$$RCCMEN=RCCME\left(\frac{100}{\bar{O}}\right)$$

Where:  $RCCME$ = is the square root of the mean square error;  $RCCMEN$ = is the square root of the mean square of the standard error (Pereira *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2010).

Correlation and determination coefficient. The correlation coefficient,  $R$ , is given by.

$$R=\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\left\{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2\right]\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2\right]\right\}^{1/2}}$$



Donde;  $P =$  promedio de los datos recolectados de la EC y el coeficiente de determinación por  $R^2$ , si el valor medido en la EA es igual al de la EC, entonces,  $RCCME = 0$  y  $R^2 = d = 1$  (Pereira *et al.*, 2008).

Error sistemático ( $E_s$ ) (Oliveira *et al.*, 2010).

$$E_s = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - O_i)^2 \right]^2$$

Error aleatorio ( $E_a$ )

$$E_a = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2 \right]^2$$

Donde:  $P_i = a + bO_i$ ,  $a$  y  $b$  son los coeficientes lineal y angular de la regresión;  $P_i$  = valor predicho (EC);  $O_i$  = valor observado (EA);  $n$  = número total de datos.

Regresión lineal simple. Se realizó el análisis de regresión lineal, con ordenada al origen, entre los datos de la estación convencional versus la automática:  $y = bx$ , donde  $b$  es el parámetro del modelo de regresión,  $y$  y  $x$  son las variables dependiente e independiente o regresiva, respectivamente, que se traduce en exactitud máxima cuando  $b = 1$ , y  $R^2 = 1$  (Strassburger *et al.*, 2011).

## Resultados y discusión

En la comparación gráfica entre los datos de la EC con los de la EA para todo el periodo y para cada una de las variables, se observa la temperatura máxima donde los valores de ambas estaciones son muy semejantes en todo el periodo, pero los de la EA son menores (Figura 1a), y se observa que para la temperatura mínima en la mayoría de los días los valores difieren poco pero los datos de la EA son mayores (Figura 1b). Para la humedad relativa máxima (Figura 1c) se observa que los datos de la estación convencional alcanzan valores cercanos a 100% y los valores de la EA son menores que estos; es decir, los valores de la EA no presentan valores de 100% y siempre están por debajo de la EC alrededor de 13%.

En la Figura 1 d) los datos de la humedad relativa mínima de la EA son mayores 10% que los de la EC. Lo anterior, presupone que el sensor de la EA podría presentar algún fallo, ya que según Allen *et al.* (1998), generalmente antes de que salga el sol, la temperatura del punto de rocío es semejante a la temperatura mínima, por lo tanto la humedad relativa alcanza valores a 100% o cercanos a este valor.

Where:  $P =$  the average of data collected from the EC and the determination coefficient by  $R^2$ , if the value measured in EA is equal to the EC, then  $RCCME = 0$  and  $R^2 = d = 1$  (Pereira *et al.*, 2008).

Systematic error ( $E_s$ ) (Oliveira *et al.*, 2010).

$$E_s = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - O_i)^2 \right]^2$$

Random error ( $E_a$ )

$$E_a = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2 \right]^2$$

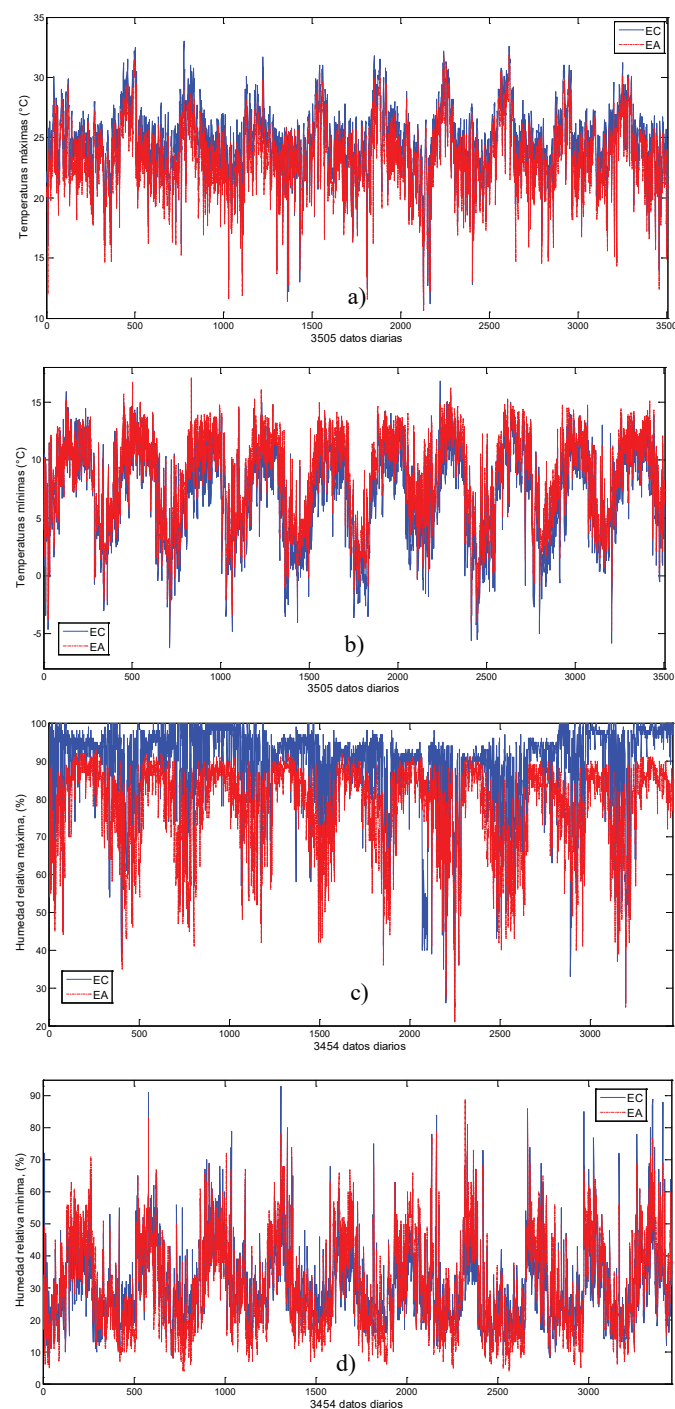
Where:  $P_i = a + bO_i$ ,  $a$  and  $b$  are the linear and angular regression coefficients;  $P_i$  is the predicted value (EC);  $O_i$  = observed value (EA);  $n$  = total number of data.

Simple linear regression. The linear regression analysis, with ordinate to the origin, between data from conventional station versus automatic, were performed:  $y = bx$ , where  $b$  is the parameter of the regression model,  $y$  and  $x$  are independent and dependent or regressive variable respectively, resulting in maximum accuracy when  $b = 1$ , and  $R^2 = 1$  (Strassburger *et al.*, 2011).

## Results and discussion

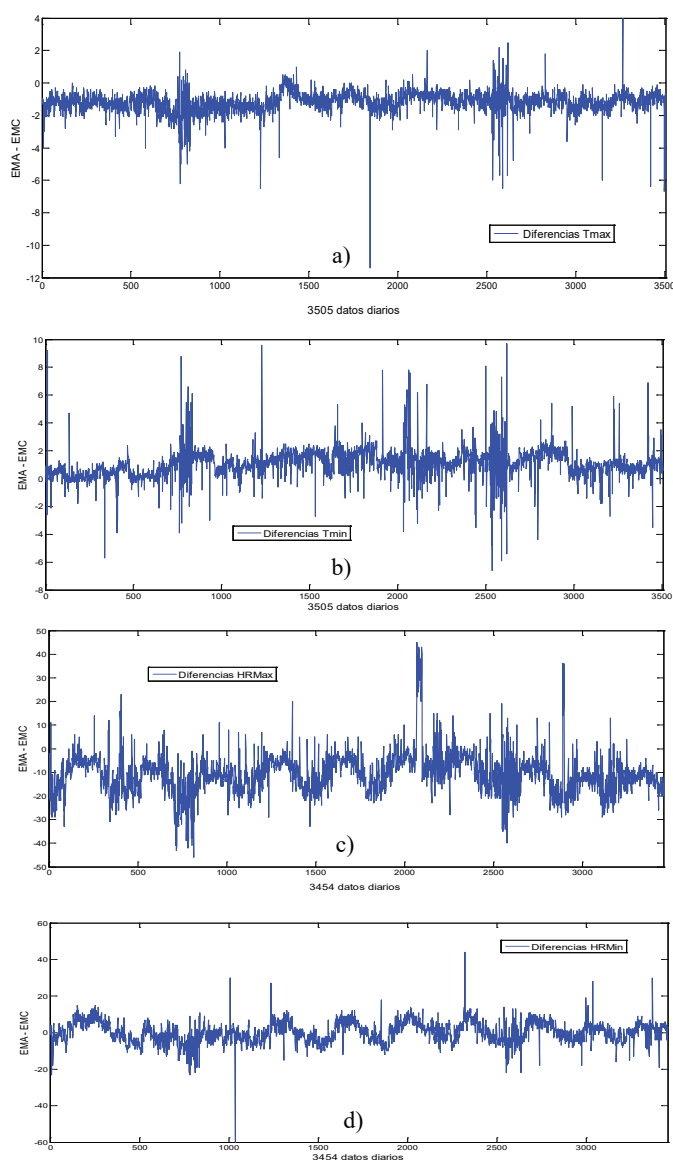
In the graphical comparison between the data from the EC and those of the EA for the whole period and for each of the variables, the maximum temperature is observed where the values of both stations are very similar throughout the period, but those of the EA are smaller (Figure 1a), and it is observed that for the minimum temperature on most days the values differ little but the EA data are higher (Figure 1b). For the maximum relative humidity (Figure 1c) it is observed that the data of the conventional station reaches values close to 100% and the values of the EA are smaller than these, that is to say, the values of the EA do not show values of 100% and are always below the EC about 13%.

In Figure 1 d) the data of the minimum relative humidity of the EA are 10% higher than those of the EC. This presupposes that the EA sensor could have a failure, since according to Allen *et al.* (1998), generally before the sun rises, the temperature of the dew point is similar to the minimum temperature, therefore the relative humidity reaches values at 100% or near this value.



**Figura 1. Series de datos de 2004 a 2013 para a)  $T_{\max}$ , b)  $T_{\min}$ , c)  $HR_{\max}$ , d)  $HR_{\min}$ , tanto para estación EA como EC.**  
**Figure 1. Data Series from 2004 to 2013 for)  $T_{\max}$ , b)  $T_{\min}$ , c)  $HR_{\max}$ , d)  $HR_{\min}$ , both EA and EC station.**

La Figura 2 muestra las diferencias de los datos de cada una de las variables medidas por ambas estaciones. En la Figura 2a) se observan las diferencias de los datos de temperaturas



**Figura 2. Diferencias de los datos de las variables de ambas estaciones. Figuras 2a) y 2b) diferencias de las variables temperatura máxima y mínima (EA-EC), respectivamente. Figuras 2c) y 2d) diferencias de las variables humedad relativa máxima y mínima (EA-EC), respectivamente.**

**Figure 2. Differences of the variables data of both stations. Figures 2a) and 2b) differences of the variables maximum and minimum temperature (EA-EC), respectively. Figures 2c) and 2d) differences of the maximum and minimum relative humidity variables (EA-EC), respectively.**

Figure 2 shows the differences in the data of each of the variables measured by both stations. In Figure 2a) are shown the differences of the data of maximum temperatures of the



máximas de la EA-EC y la mayoría están en el rango de 0 a -2, esto indica que los datos de la EC son más grandes que los de la EA, lo cual coincide con los resultados reportados por Pereira *et al.* (2008); Oliveira *et al.* (2010).

En la Figura 2b) se presentan las diferencias de los datos de temperaturas mínimas de la EA-EC y la mayoría están en el rango de 2 a 0. En este caso los datos de la EA son mayores, lo que difiere por lo encontrado por Pereira *et al.* (2008), para esta variable.

Al comparar las diferencias de la temperatura máxima (Figura 2a) con la temperatura mínima (Figura 2b), estas últimas tienen un rango más amplio de dispersión para todo el periodo, el rango del espectro de las diferencias de la temperatura máxima se reduciría si se eliminara el valor extremo que se presenta.

Las diferencias de los datos de humedad relativa máxima de la EA-EC se incluyen en la Figura 2c) donde la mayoría están en el rango de 0 a -20. Finalmente la mayoría de las diferencias de los datos de humedad relativa mínima (Figura 2d) varían en un rango de 20 a 0. Al comparar las diferencias de la humedad relativa máxima con las de la humedad relativa mínima, estas últimas tienen una menor dispersión y diferencias menos amplias que las de la variable humedad relativa máxima.

De acuerdo a los estadísticos que se presentan en el Cuadro 2, que corresponden para todo el periodo (2004-2013), la variable medida simultáneamente por la EC y EA que difieren ampliamente en sus mediciones es la humedad relativa máxima. Resultados similares encontraron Oliveira *et al.* (2010) para los estadísticos:  $d$ , RCCME,  $E_s$  y  $E_a$  para la humedad relativa media medida simultáneamente por EC y EA, para el periodo de julio de 1997 a junio de 2002 en Jaboticabal-SP en Brasil y esta diferencia la atribuyen a que son diferentes los dispositivos de medición que utiliza cada estación. También estos autores, para la temperatura máxima y temperatura mínima, encontraron valores de mejor ajuste para los estadísticos:  $d$ , RCCME,  $E_s$  y  $E_a$ , que son semejantes a los que se presentan en el Cuadro 2 para las mismas variables.

En el Cuadro 2, se percibió que la variable que obtuvo el mejor ajuste según los estadísticos utilizados para todo el periodo fue la temperatura máxima, le sigue la temperatura mínima, luego la humedad relativa mínima y por último la humedad relativa máxima. Almeida y Hermenegidio (2013) realizaron una comparación de las variables temperatura

EA-EC and most of them are in the range from 0 to -2, this indicates that EC data are larger than those of the EA, which coincides with the results reported by Pereira *et al.* (2008); Oliveira *et al.* (2010).

Figure 2b) shows the differences of the minimum temperatures data of EA-EC and most of them are in the range of 2 to 0. In this case the data of the EA are higher, which differs with what was found by Pereira *et al.* (2008), for this variable.

When comparing the differences of the maximum temperature (Figure 2a) with those of minimum temperature (Figure 2b), the latter have a wider dispersion range for the entire period, the spectrum range of the maximum temperature differences would be reduced if the extreme value shown was eliminated.

The differences in the maximum relative humidity data of EA-EC are included in Figure 2c) where most of them are in the range of 0 to -20. Finally, most of the differences in the minimum relative humidity data (Figure 2d) range from 20 to 0. When comparing the differences between the maximum relative humidity and those of the minimum relative humidity, the latter have a lower dispersion and less wide differences than the maximum relative humidity variable.

According to the statistics shown in Table 2, corresponding to the whole period (2004-2013), the variable measured simultaneously by the EC and EA that widely differ in its measurements is the maximum relative humidity. Similar results were found by Oliveira *et al.* (2010) for the statistical:  $d$ , RCCME,  $E_s$  and  $E_a$  for the average relative humidity measured simultaneously by EC and EA for the period of July 1997 to June 2002 in Jaboticabal-SP in Brazil and this difference is attributed to the fact that the measuring devices used by each station are different. Also these authors, for maximum temperature and minimum temperature found values with better fit for the statistics:  $d$ , RCCME,  $E_s$  and  $E_a$ , which are similar to those shown in Table 2 for the same variables.

Table 2, shows that the variable that obtained the best fit according to the statistics used for the whole period was the maximum temperature, followed by the minimum temperature, then the minimum relative humidity and finally the maximum relative humidity. Almeida and Hermenegidio (2013) made a comparison of the variables

del aire, humedad relativa y precipitación del periodo 01 de enero de 2006 al 31 de diciembre de 2008, las observaciones se compararon en forma de unidades de tiempo coordinado (UTC) de 12, 18 y 24 (horas), los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) que encontraron para la temperatura del aire a las: 12, 18 y 24 fueron: 0.87, 0.95 y 0.76, y para humedad relativa de: 0.85, 0.93 y 0.81, respectivamente y también realizaron un modelo de regresión lineal de la humedad relativa media entre la EC con la EA con un  $R^2$  de 0.834, y para temperatura mínima y máxima la  $R^2$  fue de 0.932 y de 0.989, respectivamente, el ajuste para estas dos últimas variables fue mejor que para la humedad relativa media, resultados similares a los encontrados en este trabajo.

air temperature, relative humidity and precipitation between January 1<sup>st</sup>, 2006 and December 31<sup>st</sup>, 2008, observations were compared in the form of coordinated time units (UTC) of 12, 18 and 24 (hours), the coefficients of determination ( $R^2$ ) found for air temperature at 12, 18 and 24 were: 0.87, 0.95 and 0.76, and for relative humidity: 0.85, 0.93 and 0.81 respectively and they also performed a linear regression model of the average relative humidity between EC and EA with an  $R^2$  of 0.834, and for minimum and maximum temperature the  $R^2$  was 0.932 and 0.989, respectively, the setting for these two last variables was better than the average relative humidity, results similar to those found in this work.

**Cuadro 2. Coeficiente para la temperatura máxima, mínima, humedad relativa máxima y mínima del periodo 2004-2013.**  
**Table 2. Coefficient for the maximum temperature, minimum, maximum relative humidity and minimum for the period 2004-2013.**

Variable	$R^2$	d	$C_i$	$C_c$	RCCMEN	RCCME	$E_s$	$E_a$
$T_{\max}$	0.9385	0.9449	0.02931	0.97069	5.81061	1.36311	1.92455	0.22373
$T_{\min}$	0.9175	0.9647	0.03452	0.96548	17.98723	1.51234	1.41574	1.20398
$HR_{\max}$	0.4174	0.7149	0.26682	0.73318	17.78381	13.84306	15524.32683	4491.05981
$HR_{\min}$	0.8069	0.9549	0.08674	0.91326	18.42792	5.67563	96.84722	500.33732

$R^2$ = Coeficiente de determinación; d= índice de Willmott;  $C_i$ = coeficiente de inconsistencia;  $C_c$  = coeficiente de consistencia; RCCMEN= raíz cuadrada del cuadrado medio del error normalizado; RCCME= raíz cuadrada del cuadrado medio del error;  $E_s$ = error sistemático;  $E_a$ = error aleatorio.

Pereira *et al.* (2008) y Oliveira *et al.* (2010) encontraron valores de RCCMEN para  $T_{\max}$  de 1.47 y de 3.84 respectivamente mientras que en el presente estudio fue de 5.81, que denota una diferencia mínima entre los resultados encontrados. Estos autores utilizaron la variable humedad relativa media y obtuvieron valores de RCCMEN de 13.19 y 8.66, respectivamente, mientras que en el presente estudio para la humedad relativa máxima fue de 17.78 y para la humedad relativa mínima 18.42, estos resultados son mayores porque se utilizaron valores extremos a diferencia de aquellos estudios en los que se usaron promedios de la variable en cuestión.

Los valores del error sistemático ( $E_s$ ) y aleatorio ( $E_a$ ), para la temperatura máxima que se obtuvieron por Pereira *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010) y en el presente estudio fueron de: 0.167 y 0.01; 0.94 y 0.3; 1.92 y 0.22, respectivamente. En relación a dichos errores ( $E_s$  y  $E_a$ ), para temperatura mínima, Pereira *et al.* (2008) y Oliveira *et al.* (2010) obtuvieron valores de: 0.083 y 0.001; 0.91 y 1.63 respectivamente mientras que en el presente estudio fue de: 1.42 y 1.2. Oliveira *et al.* (2010), para la humedad relativa media encontraron valores de  $E_s$  y  $E_a$  de 30.61 y 11.8, respectivamente, en este trabajo se elevaron

Pereira *et al.* (2008) and Oliveira *et al.* (2010) found RCCMEN values for  $T_{\max}$  of 1.47 and 3.84 respectively while in this research it was 5.81, which indicates a minimal difference between the results. These authors used the mean relative humidity and obtained RCCMEN values of 13.19 and 8.66, respectively, while in this research the maximum relative humidity was 17.78 and for the minimum relative humidity 18.42 these results are higher because extreme values were used unlike those studies in which averages of the variable in question were used.

Systematic error values ( $E_s$ ) and random ( $E_a$ ), for the maximum temperature that were obtained by Pereira *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010) and in this research were: 0.167 and 0.010; 0.94 and 0.3; 1.92 and 0.22, respectively. Regarding these errors ( $E_s$  y  $E_a$ ), for the low temperature, Pereira *et al.* (2008) and Oliveira *et al.* (2010) obtained values of: 0.083 and 0.001; 0.91 and 1.63, respectively, whereas in this research were of: 1.42 and 1.2. Oliveira *et al.* (2010), for the average relative humidity found values of  $E_s$  and  $E_a$  of 30.61 and 11.8, respectively, in this paper these error values of  $E_s$  and  $E_a$  rose as high relative humidity and

los valores de error de  $E_s$  y  $E_a$ , ya que se utilizó la humedad relativa máxima y la mínima, que son valores extremos, es importante aclarar que una media oculta estos valores.

La diferencia entre los valores de  $HR_{max}$  de la EA con la EC para este tipo de estudio pudo deberse a la lenta respuesta del sensor debido al fenómeno de histéresis, en el rango de 90% a 100%, tal como lo señalan Estévez *et al.* (2011). El sensor de la EA invariablemente está por abajo para el mismo valor de la EC y rara vez la EA registra valores de 100%.

Otra posible causa es como cita Almeida y Hermenegidio (2013) citando por Almeida *et al.* (2008), en una estación meteorológica automática, en la cual, no existe el psicrómetro, la humedad relativa es obtenida a través de un algoritmo, o tiene solo un termistor sin el termómetro de bulbo húmedo, por lo tanto, la presión actual de vapor ( $e_a$ ) para el bulbo húmedo se estima por un polinomio, y cómo es directamente proporcional a la humedad relativa, si existe una sub o sobreestimación de la presión actual de vapor, esto incide ya sea, en el aumento o disminución en la humedad relativa, por lo que esta puede ser la principal causa de la diferencia. Una recomendación por Allen (1996) al respecto, es duplicar los sensores de humedad relativa empleados en estaciones climáticas con dispositivos electrónicos, esta práctica es costosa pero puede ahorrar consumos en el tiempo de resolución de problemas y la preocupación relativa a la integridad de los datos.

Para definir la variación de los coeficientes de inconsistencia ( $C_i$ ) y consistencia ( $C_c$ ) estos, se determinaron por año y se presentan en la Cuadro 3. Se confirma lo determinado para todo el periodo, que en la variable temperatura máxima medida simultáneamente por las EC y EA, sus datos son más semejantes, ya que sus coeficientes de inconsistencia son los más cercanos a cero para los diferentes años, le sigue la temperatura mínima. Para la temperatura máxima el  $C_i$  más cercano a cero ( $C_i = 0.00767$ ) se reportó para el año 2010, y para la temperatura mínima en 2005 ( $C_i = 0.01041$ ), consecuentemente con sus mejores ajustes de los coeficientes de consistencia ( $C_c = 0.99233$  y  $C_c = 0.98959$ , respectivamente). Además se ratifica que los datos medidos en ambas estaciones (EC y EA) para la variable humedad relativa máxima son los que más difieren y en 2013 se reportó el valor más cercano a cero del coeficiente de inconsistencia ( $C_i = 0.08109$ ,  $C_c = 0.91891$ ).

Para la variable humedad relativa mínima su  $C_i$  más cercano a cero es en 2013 ( $C_i = 0.04314$ ,  $C_c = 0.95686$ ). Los valores alejados de cero indican que los datos de la variable medida

minimum relative humidity were used, which are extreme values, it is important to clarify that a mean hides these values.

The difference between the values of  $HR_{max}$  EA to EC for this type of study might be due to the slow response of the sensor due to the hysteresis phenomenon, in the range of 90% to 100%, as pointed by Estevez *et al.* (2011). The EA sensor is invariably below for the same value of EC, and the EA rarely registers values of 100%.

Another possible cause as pointed by Almeida and Hermenegidio (2013) quoted by Almeida *et al.* (2008), in an automatic meteorological station, in which the psychrometer does not exist, the relative humidity is obtained through an algorithm, or has only one thermistor without the wet bulb thermometer, therefore, the current steam pressure ( $e_a$ ) for the wet bulb is estimated by a polynomial, and since it is directly proportional to relative humidity, if there were a sub or overestimation of the actual vapor pressure, it would affects either in an increase or decrease in the relative humidity, so this may be the main cause of the difference. A recommendation by Allen (1996) in this regard is to duplicate the relative humidity sensors used in climatic stations with electronic devices, it is mentioned that this practice is expensive but can save consumptions in the time of problem solving and the concern related to the data integrity.

To define the variation of the inconsistency ( $C_i$ ) and consistency ( $C_c$ ) coefficients these were determined by year and are shown in Table 3. It is confirmed what was determined for the entire period, that the maximum temperature variable measured simultaneously for EC and EA, their data are more similar, since their inconsistency coefficients are the closest to zero for different years, is followed by the minimum temperature. For maximum temperatura  $C_i$  closer to zero ( $C_i = 0.00767$ ) was reported for 2010, and the minimum temperature in 2005 ( $C_i = 0.01041$ ), consequently with its best adjustments of the consistency coefficients ( $C_c = 0.99233$  y  $C_c = 0.98959$ , respectively). Furthermore it is confirmed that the data measured in both stations (EC and EA) for the maximum relative humidity are the ones that differ most and in 2013 the value closest to zero of the coefficient of inconsistency was reported ( $C_i = 0.08109$ ,  $C_c = 0.91891$ ).

For the minimum relative humidity variable its  $C_i$  closest to zero was in 2013 ( $C_i = 0.04314$ ,  $C_c = 0.95686$ ). The farthest zero values indicate that data of the measured variable by

por ambas estaciones son muy diferentes y corresponden a los  $C_i$  obtenidos para diferentes años de la humedad relativa máxima, al analizar los datos diarios de la humedad relativa máxima (Figura c), resulta lógico puesto que invariablemente el sensor de la EA de esta variable estuvo marcando un dato alejado de su simultáneo tomado de manera convencional, el  $C_i$  más cercano a la unidad o donde los datos son muy diferentes, se reportó para 2009 para  $HR_{\max}$  ( $C_i = 0.55329$ ,  $C_c = 0.44671$ ).

both stations are different and correspond to  $C_i$  obtained for different years for maximum relative humidity, when analyzing the daily data of high relative humidity (Figure 1c), it is logical since invariably the EA sensor of this variable was marking a data away from its simultaneous taken conventionally, the  $C_i$  closest to the unit or where the data are very different, was reported for 2009 for  $HR_{\max}$  ( $C_i = 0.55329$ ,  $C_c = 0.44671$ ).

**Cuadro 3. Coeficientes de inconsistencia ( $C_i$ ) y de consistencia ( $C_c$ ) obtenidos de manera anual de 2004 hasta 2013 para temperatura máxima, mínima, humedad relativa máxima y mínima.**

**Table 3. Coefficients of inconsistency ( $C_i$ ) and consistency ( $C_c$ ) obtained annually from 2004 to 2013 for maximum and minimum temperature, minimum and maximum relative humidity.**

Año	$T_{\max}$		$T_{\min}$		$HR_{\max}$		$HR_{\min}$	
	$C_i$	$C_c$	$C_i$	$C_c$	$C_i$	$C_c$	$C_i$	$C_c$
2004	0.01741	0.98259	0.02085	0.97915	0.30376	0.69624	0.08928	0.91072
2005	0.01485	0.98515	0.01041	0.98959	0.18486	0.81514	0.04993	0.95007
2006	0.05027	0.94973	0.03851	0.96149	0.3307	0.6693	0.09922	0.90078
2007	0.04009	0.95991	0.02241	0.97759	0.22543	0.77457	0.07716	0.92284
2008	0.01576	0.98424	0.02014	0.97986	0.23547	0.76453	0.10285	0.89715
2009	0.03396	0.96604	0.05408	0.94592	0.55329	0.44671	0.11163	0.88837
2010	0.00767	0.99233	0.01708	0.98292	0.12724	0.87276	0.06703	0.93297
2011	0.04998	0.95002	0.06077	0.93923	0.21991	0.78009	0.10231	0.89769
2012	0.01823	0.98177	0.02839	0.97161	0.31648	0.68352	0.05157	0.94843
2013	0.03185	0.96815	0.02725	0.97275	0.08109	0.91891	0.04314	0.95686

Con la información en el Cuadro 3, se confirma la regla general que propone la WMO (2008), que es medir de forma paralela por lo menos dos periodos estacionales (24 meses) las diferentes variables que miden ambas estaciones, pero al terminar los dos años de mediciones es importante realizar un ejercicio como éste, para definir qué tan semejantes son las mediciones de una variable medida por ambas estaciones. Como el caso de las temperaturas máximas y mínimas se puede tomar la decisión de suspender las mediciones de la EC, no así para la humedad relativa máxima y mínima.

Como refiere Pereira *et al.* (2008), las fallas en el funcionamiento de los equipos que funcionan de manera automática ocasiona pérdidas en la colecta de los datos, habiendo la necesidad de utilizar los datos provenientes de las estaciones convencionales, por otro lado las tendencias en la actualidad es que las nuevas tecnologías van sustituyendo los procesos convencionales, y está en función de las dificultades de la manutención de personal por las instituciones que operan estas redes de estaciones. No obstante, una sustitución

With the information shown in Table 3, the general rule proposed by the WMO (2008) is confirmed, which is to measure in parallel at least two seasonal periods (24 months) the different variables measured by both stations but at the end of the two years of measurements it is important to perform an exercise like the one presented here, to define how similar the measurements of a variable measured by both stations are. As is the case of maximum and minimum temperatures, a decision can be made to suspend EC measurements, but not for maximum and minimum relative humidity.

As noted by Pereira *et al.* (2008), failures in the equipment that operate automatically causes losses in the data collection, with the consequent need to use the data from conventional stations, on the other hand the current trends are that new technologies are replacing the conventional processes, and is a consequence of the difficulties to maintain the personnel by the institutions that operate these stations networks. However, a replacement of

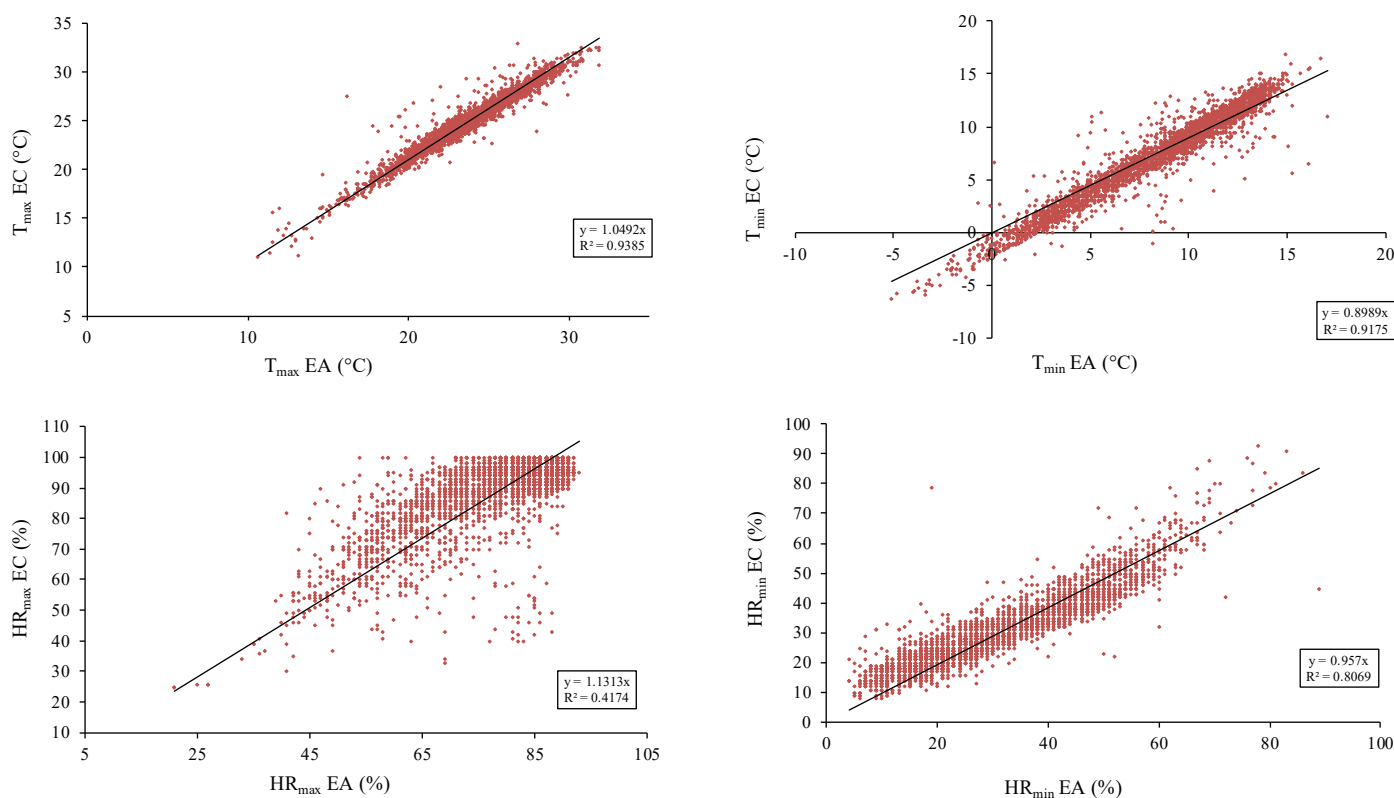


de las estaciones convencionales por las automáticas exige cuidado especialmente en la homogenización en la serie de datos (Sentelhas *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 2008).

Por último, se realizó un análisis de regresión con ordenada al origen, para las diferentes variables (Figuras 3a, 3b, 3c) y 3d), se observó que, para la humedad relativa máxima y para la humedad relativa mínima se obtuvieron  $R^2$  de 0.4174 y de 0.8069 respectivamente, lo que coincide con lo encontrado por Scarpate *et al.* (2010), que encontraron una  $R^2=0.469$  para la humedad relativa media ( $d=0.789$ ) y el mejor ajuste lo hallaron para la temperatura media ( $R^2=0.993$  y  $d=0.968$ ), esto para un periodo de datos de 9 años y 9 meses en Piracicaba/SP en Brasil, comentan que existen diferencias significativas en las mediciones de sus estaciones (EC y EA), probablemente debido a las diferencias de sensibilidad de los sensores y a la diferencia de la muestra de datos utilizada para el cálculo de las medias de la EC y la EA, y también indican que otros factores son: a) los diferentes tipos de sensores utilizados tanto de la EA como en la EC; b) la adecuada calibración del sensor; c) localización de la estación; y d) el periodo del análisis de los datos medidos.

conventional stations by automatic requires careful homogenisation especially in the data series (Sentelhas *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 2008).

Finally, a regression analysis with an ordinate was performed for the different variables (Figures 3a, 3b, 3c and 3d)), it was observed that, for the maximum relative humidity and for the minimum relative humidity  $R^2$  of 0.4174 and 0.8069 were obtained respectively, which coincides with that found by Scarpate *et al.* (2010), who found a  $R^2=0.469$  for the mean relative humidity ( $d=0.789$ ) and the best fit was found for the mean temperature ( $R^2=0.993$  and  $d=0.968$ ), this for a data period of 9 years and 9 months in Piracicaba/SP in Brazil, they also comment that there are significant differences in the measurements of their stations (EC and AE), probably due to the sensitivity differences of the sensors and to the difference of the data sample used for the calculation of the means Of EC and AE, and also indicate that other factors are: a) the different types of sensors used for both EA and EC; b) adequate calibration of the sensor; c) location of the station; and d) the analysis period of the measured data.



**Figura 3. Regresión lineal, con ordenada al origen, entre datos de la EA vs EC para 3a) T<sub>max</sub> y 3b) T<sub>min</sub>, y para 3c) HR<sub>max</sub> y 3d), HR<sub>min</sub>.  
Figure 3. Linear regression, with ordinate to the origin, between data from the EA vs EC for 3a) T<sub>max</sub> and 3b) T<sub>min</sub>, and for 3c) HR<sub>max</sub> and 3d), HR<sub>min</sub>.**



No obstante, Cunha y Martins (2004), encontraron  $R^2=0.9537$  para la humedad relativa media, a diferencia de lo encontrado en este trabajo, además encontraron una sobreestimación de la EA en relación con la EC, lo cual no coincide para la  $HR_{\max}$  en este trabajo, pero si para la  $HR_{\min}$  y para la temperatura media encontraron subestimación de los datos de EA en relación con EC, lo que coincide en este trabajo para la  $T_{\max}$ , pero no para la  $T_{\min}$ .

Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ), para la temperatura máxima y mínima ( $R^2=0.9385$  y  $R^2=0.9175$ , respectivamente), muestran una alta precisión y exactitud, esto coincide con lo que encontraron Strassburger *et al.* (2011), para las mismas variables para el periodo 22 de diciembre de 2005 al 21 de diciembre de 2006, con  $R^2$  de hasta 0.99, y como indican, dados los altos valores de  $R^2$  de las medidas entre los instrumentos automáticos y convencionales para esas variables se pueden utilizar tanto los datos provenientes de la estación meteorológica convencional como de la automática, de igual forma esto coincide con Pereira *et al.* (2008), quienes encontraron  $R^2$  altas de las medidas entre sensores automáticos y convencionales con  $R^2=0.9925$  para temperatura máxima y  $R^2=0.995$  para temperatura mínima.

## Conclusiones

La temperatura máxima medida, fue la variable donde los datos son más semejantes entre ambas estaciones, EC y EA, para todo el periodo 2004-2013, seguida de la variable temperatura mínima. Dado que los datos de humedad relativa máxima, seguidos por la humedad relativa mínima tomados de manera convencional presentan diferencias significativas con sus homólogos tomados automáticamente, se recomienda no dejar de lado la toma de datos ni convencional ni automática, hasta que estos sean homologados correctamente, ya sea por la calibración u otro medio.

## Literatura citada

- Allen, G. R. 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *J. Irrig. Drainage Eng.* 122(2):97-106.
- Allen, G. R.; Pereira, S.L.; Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. Roma. 298 p.

However, Cunha and Martins (2004) found  $R^2=0.9537$  for the average relative humidity, unlike what was found in this paper, they also found an overestimation of EA related to the EC, which does not coincide with  $HR_{\max}$  in this paper, but for the  $HR_{\min}$  and found for the average temperature an underestimation of EA data regarding EC, which coincides in this work with  $T_{\max}$ , but not for  $T_{\min}$ .

The coefficients of determination ( $R^2$ ), for the maximum and minimum temperature ( $R^2=0.9385$  and  $R^2=0.9175$ , respectively), show a high precision and accuracy, this matches what was found by Strassburger *et al.* (2011), for the same variables for the period December 22<sup>nd</sup>, 2005 to December 21<sup>st</sup>, 2006, with  $R^2$  up to 0.99, and as indicated, given the high values of  $R^2$  of the measures between automatic and conventional instruments for these variables, data can be used both from the conventional weather station and the automatic, similarly this matches with Pereira *et al.* (2008), who found high  $R^2$  of the measures between automatic and conventional sensors with  $R^2=0.9925$  for maximum temperature and  $R^2=0.995$  for minimum temperature.

## Conclusions

The maximum temperature measured was the variable where the data are most similar between the two stations, EC and EA, for the whole period 2004-2013, followed by the minimum temperature variable. Since the data of maximum relative humidity, followed by the minimum relative humidity taken in the conventional way, showed significant differences with their automatically taken counterparts, it is recommended not to leave aside the data collection neither conventional nor automatic until they are correctly homologated, either by calibration or by other means.

*End of the English version*



- Almeida, H. A.; Souza, J. A. e Alcântara, H. M. 2008. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semiárido paraibano.
- Almeida, H. A. e Hermenegidio, G. M. S. 2013. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. *Ver. Brasil. Climatol.* 12(1):32-47.

- Colotti, B. E.; Blanco, T. A. y Rodríguez, G. J. 2003. Aplicación del coeficiente de inconsistencia como criterio de comparación entre mediciones convencionales y automáticas de lluvia diaria. *Terra Nueva Etapa*. 19(28):85-101.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. México. 278 p.
- Cunha, A. R. e Martins, D. 2004. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 12(1):103-111.
- Elías y Castellví, 2001. *Agrometeorología*. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, España. 517 p.
- Estévez, J.; Gavilán, P. and Giraldez, V. J. 2011. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *J. Hydrol.* 402:144-154.
- Funari, F. L. e Pereira, F. A. J. 2010. Análise comparativa de medições de variáveis meteorológicas realizadas por estações meteorológicas convencional e automática instaladas no parque estadual das fontes do Ipiranga-São Paulo-SP. *Rev. Bras. Climatol.* 7:159-168.
- Gattinoni, N.; Boca, T.; Rebella, C. y Di Bella. 2011. Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos. *Revista Investigaciones Agropecuarias*. 37(1):75-85.
- Oliveira, D. A.; Almeida, M. B.; Junior, G. C. E.; Sobrinho, E. J. e Vieira, Y. M. R. 2010. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP. *Ver. Caatinga, Mossoró*. 23(4):108-114.
- Pereira, L. M. P.; Caramori, P. H.; Ricce, W. S. e Caviglione, J. H. 2008. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina. *Semina: Ciências Agrárias*. 29(2):299-306.
- Romo, G. J. R. y Arteaga, R. R. 1989. *Meteorología agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Departamento de Irrigación. 442 p.
- Scarpate, F. V.; Oliveira, G. X. S.; Simon, J.; Piedade, S. M. S. e Angelocci, L. R. 2010. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação meteorológica convencional e automática-Piracicaba/SP. In: *Congreso Brasileiro de Meteorologia*, 16, 2010, Belém-PA Anais..., Belém-PA: Sociedade Brasileira Meteorologia.
- Willmott, C. J.; Ackleson, S. G. and Davis, R. E. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J. Geophys. Res.* 90(C5):8995-9005.
- SE (Secretaría de Economía). 2013. NMX-AA-166/1-SCFI-2013. Estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas. Parte 1: especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales e instrumentos de medición de las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales, México. 43 p.
- Sentelhas, P. C.; Moraes, S. O.; Piedade, S. M. S.; Pereira, A. R.; Angelocci, L. R. e Marin, F. R. 1997. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. *Ver. Bras. Agrometeorol.* 5(2):215-221.
- Strassburger, A. S.; Menezes, A.; Perleberg, T. D.; Eicholz, E. D.; Mendez, M. E. G. e Schöffel, E. R. 2011. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. *Ver. Bras. Meteorol.* 26(2):273-278.
- Teixeira, A. H. C.; Bassoi, L. H.; Reis, V. C. S.; Silva, T. G. F.; Ferreira, M. N. L. e Maia, J. L. T. 2003. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal-SP*. 25(3):457-460.
- Ureña, E. F. 2011. Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos. *Rev. Posgrado y Sociedad*. 11(1):33-49.
- WMO (World Meteorological Organization). 1993. Guide on the global data-processing system. Geneva, Switzerland. Núm. 305. 204 p.
- WMO (World Meteorological Organization). 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Núm. 8. Geneva, Switzerland.
- Willmott, C. J.; Ackleson, S. G. and Davis, R. E. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J. Geog. Res.* 90(5):8995-9005.