

# COMPARACIÓN DE REGISTROS METEOROLÓGICOS DE TRES ESTACIONES DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA PARA EXTRAPOLARLOS CON FINES AGROCLIMÁTICOS.

Antonio de la Casa<sup>1</sup>, OB Nasello<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>2</sup>Facultad de Matemática Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba.  
Ciudad Universitaria (5000) Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup> Investigador del CONICET.

La observación meteorológica de carácter sistemática y continua suele ser una carencia en muchas regiones de nuestro país, lo que limita la posibilidad de generar información de interés económico y social. La evaluación de los recursos productivos o del impacto de las condiciones de riesgo ambiental en una región con datos meteorológicos inexistentes obliga a su extrapolación desde alguna estación próxima. El cinturón verde de la ciudad de Córdoba es un ámbito de producción fruti hortícola muy importante en nuestra provincia que, sin embargo, no cuenta con un servicio de información meteorológico *in situ*. Por esta razón, la investigación agronómica y ambiental que allí se realiza debe valerse con frecuencia de los registros producidos en las estaciones que funcionan en la misma ciudad. El gran desarrollo urbano que ha experimentado la ciudad en los últimos años, como así también cuestiones propias a la operación y emplazamiento de las estaciones, abre el interrogante sobre la validez de utilizar de manera directa los datos obtenidos en la ciudad a fin de evaluar las condiciones agroclimáticas en el sector periférico del cinturón verde. El objetivo de este trabajo fue comparar la información meteorológica producida por las estaciones de B° Observatorio y Ciudad Universitaria, ubicadas en distintos sectores de la ciudad de Córdoba (ámbito urbano), y cotejarla con la relevada en el cinturón verde de la ciudad (ámbito periférico), a fin de establecer el nivel de confianza para realizar su extrapolación eventual.

The systematic and continuous weather observation usually is a deficiency in many regions of our country, which limits the possibility of generating information of economic and social interest. The evaluation of the productive resources or the impact of the environmental conditions in a region with nonexistent weather data forces to its extrapolation from some next station. The green belt of the city of Córdoba is a region of with a very important farming production, nevertheless, does not count with *in situ* meteorological information service. Therefore, the investigation that are made there, frequently must use the registries produced in stations that work in the same city. However, due to the great urban development that the Córdoba city has experienced in the last years, the direct use of the data collected in the city in order to evaluate the conditions in the peripheral sector must be analyzed. The objective of this work was to compare the weather data produced by the stations of B° Observatory and University City, located in different sectors of the Córdoba city (urban area), with one in the green belt of the city (peripheral area), in order to establish the confidence level of possible extrapolations.

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio ambiental producto del crecimiento y desarrollo de los centros urbanos, es una temática que ha sido objeto de numerosos trabajos. La relación entre los cambios térmicos y el consumo de energía de una ciudad pone de manifiesto que la temperatura del aire está influenciada por el proceso de urbanización. En este sentido, han sido determinados incrementos de temperatura que oscilan entre 0,1°C y 1,1°C por década, asociados con aumentos en la demanda de energía eléctrica de 3 a 4 % por grado centígrado (Mc Pherson, 1994 [1]; Akbari *et al.*, 1990[2]). En la actualidad, el régimen calórico local que se desarrolla en los grandes centros urbanos es catalogado como “isla de calor”, cuya influencia sobre la temperatura media del aire ha sido documentada para la ciudad de Buenos Aires (Barros y Camilloni, 1994 [3]; Camilloni y Barros, 1997[4]).

Dentro de un contexto agroclimático, Fernández Long *et al.* (2001) [5] estudiaron el comportamiento de las heladas en la ciudad de Buenos Aires y el conurbano bonaerense, determinando la existencia de diferencias en la frecuencia de heladas entre ambos sectores. La intensidad de las heladas en los últimos años acusa una disminución respecto a períodos anteriores, siendo esta más notable en las estaciones cercanas al río de la Plata y en aquellas con un entorno urbano muy desarrollado. Las temperaturas mínimas anuales medias de la ciudad, marcadamente superiores a las del conurbano, ponen en evidencia el calentamiento provocado por la gran urbe. El contraste térmico entre el centro y la periferia es probable que se repita también en otros grandes centros poblados, como es el caso de la ciudad de Córdoba.

En el cinturón verde de la ciudad de Córdoba se realiza una importante actividad agrícola, en especial en el rubro fruti hortícola (Lanfranconi *et al.*, 1987 [6]). El desarrollo productivo de este sector aledaño a la ciudad ha

demandado una sostenida tarea de investigación agronómica sobre los principales cultivos que se practican y la problemática de manejo asociada: riego, fertilización, control de enfermedades y plagas, etc. Sin embargo, el área no dispone de un servicio de información meteorológico instalado *in situ*, razón por la cual es habitual extrapolar los datos de las estaciones localizadas en la ciudad para realizar evaluaciones que requieren la utilización de registros del ambiente atmosférico.

Aunque las redes de observación meteorológica representan una colección de datos puntuales, sus registros son aplicados por lo general a localidades entre las estaciones que la conforman. Hubbard (1994) [7] sostiene que para una variable en particular la asociación entre los registros producidos por los observatorios meteorológicos de una red decrece a medida que aumenta la distancia entre ellos. Un aspecto a resolver es, en este sentido, la distancia mínima que deben guardar dos estaciones contiguas para evitar la superposición o a fin de conocer el nivel de precisión con el que se trabaja en caso de utilizar los datos de una estación lejana. Rotondo y Seiler (2001)[8] evaluaron una red agrometeorológica y establecieron su representatividad espacial en una región al sur de la provincia de Córdoba.

El continuo desarrollo urbano que ha experimentado la ciudad de Córdoba en los últimos años, como así también cuestiones propias a la operación y emplazamiento de las estaciones allí instaladas, para el que existe siempre un dominio o alcance microclimático particular, abre el interrogante sobre la validez de utilizar de manera directa los datos obtenidos en la ciudad a fin de evaluar las condiciones climáticas y agroclimáticas del sector periférico.

El objetivo de este trabajo fue comparar la información meteorológica de dos estaciones instaladas en distintos sectores de Córdoba (ámbito urbano), y cotejarla con la relevada directamente en el cinturón verde de la ciudad (ámbito periférico), para establecer el nivel de confianza en caso de realizar su extrapolación con fines agroclimáticos.

## II. DATOS ANALIZADOS Y METODOLOGÍA

Para realizar este estudio se han comparado datos meteorológicos obtenidos simultáneamente en tres estaciones meteorológicas, situadas en diferentes lugares de la ciudad de Córdoba, según indica la Figura 1

Las estaciones de B° Observatorio (BO), que pertenece al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y de la Ciudad Universitaria (CU), que opera la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF-UNC), están localizadas en un sector urbano y operan de manera continua. Además, BO registra en abrigo meteorológico a 2 m de altura y CU está sobre la azotea del edificio de la facultad a 10 m de altura. La del cinturón verde de la ciudad, próxima a Coronel Olmedo (CO), pertenece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA-UNC), y se trata de un sistema automático de adquisición de datos agroclimáticos, que es utilizado de manera discontinua en

sus investigaciones. En la Tabla 1 se dan detalles sobre la posición geográfica de las estaciones.

Tabla 1. Posición geográfica de las estaciones utilizadas.

Estación	Fuente	Latitud	Longitud	Altura
B° Observatorio	SMN	31°26'17"	64°11'53"	359
C. Universitaria	FAMAF	31°26'17"	64°11'35"	390
Coronel Olmedo	FCA	31°30'44"	64°08'42"	402

Figura 1. Localización de las estaciones de B° Observatorio (BO círculo gris), Ciudad Universitaria (CU, círculo negro) y Coronel Olmedo (CO, círculo blanco), sobre una imagen Landsat 7 en tonos de grises compuesto de la ciudad de Córdoba (blanco: urbanizado; negro: cultivos).



Las variables meteorológicas analizadas en el análisis fueron sólo las que emplea el sistema DDSAT para ejecutar los diferentes modelos de cultivos que lo integran: Radiación solar (RS), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación (PP). Estas variables a escala diaria, constituyen la información básica que es utilizada para modelar los procesos biofísicos y fisiológicos de crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. En el caso particular del cultivo de papa, el modelo Substor (Griffin *et al.*, 1993 [9]), que integra el paquete DDSAT, ha sido utilizado en el cinturón verde para evaluar distintos problemas

relacionados con la práctica del riego, el efecto de la sequía sobre el desarrollo del área foliar (de la Casa *et al.*, 2001[10], y para establecer la consistencia de un modelo de estimación de la radiación solar (de la Casa *et al.*, 2003[11]). Se analizan en particular los registros obtenidos entre febrero y mayo de los años 2005 y 2006, porque en ese periodo otoñal se desarrolla el ciclo habitual de producción de papa semitardía y se realiza la tarea de investigación de manera preponderante.

En la actualidad, el único radiómetro instalado en la ciudad de Córdoba opera en la estación de CU (FAMAF), en tanto la estación de BO (SMN) dispone de un heliofanógrafo. Mientras el radiómetro mide la intensidad de la radiación solar global en un plano horizontal ( $Wm^{-2}$ ), el heliofanógrafo registra las horas en que el brillo solar fue suficientemente intenso para quemar una faja de papel. El análisis, en este caso, consistió en obtener la curva de ajuste entre los valores observados de radiación solar y heliofanía, en ambos casos expresados en términos relativos al máximo astronómico diario. La heliofanía relativa se refiere a la relación entre el valor efectivo y el astronómico de la duración del día, en tanto por transmisividad se entiende a la relación entre la radiación solar recibida y la estimada en el límite superior atmosférico (de la Casa *et al.*, 2003 [11]).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Temperatura del aire.

La Figura 2 presenta la variación que registró la temperatura máxima diaria (Tmax) durante el mes de abril de 2005 en las tres estaciones analizadas. La Figura 3 es similar, pero con respecto a la temperatura mínima (Tmin).

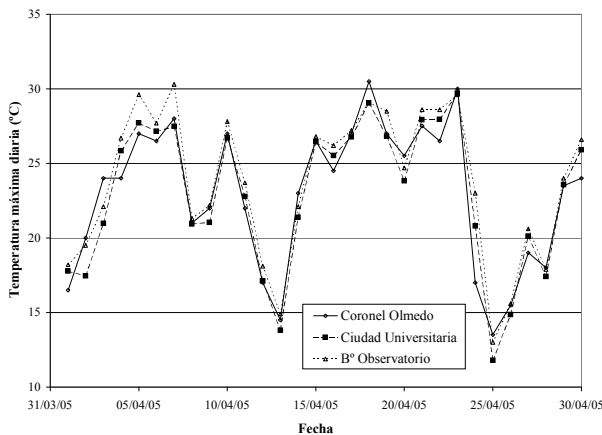


Figura 2. Variación de la temperatura máxima diaria durante el mes de abril de 2005 en las tres estaciones analizadas de la ciudad de Córdoba.

En el caso de Tmax, se observa una marcada similitud en los registros de las tres estaciones, si bien el coeficiente

de determinación ( $R^2$ ) entre cualquiera de las estaciones urbanas y la de Coronel Olmedo, con una separación menor a 15 km, ronda el valor de 0,9 (Tabla 2). Hubbard (1994)[7] obtuvo para esta variable, de acuerdo al análisis que realizó en una región plana y uniforme de Estados Unidos de NA, que el  $R^2$  se mantuvo por encima de 0,9 hasta una distancia de 60 km. De acuerdo a los resultados obtenidos en este caso, por efecto de la urbanización y las diferentes condiciones de emplazamiento, se aprecia que igual nivel de confianza para Tmax no sobrepasa los 15 km.

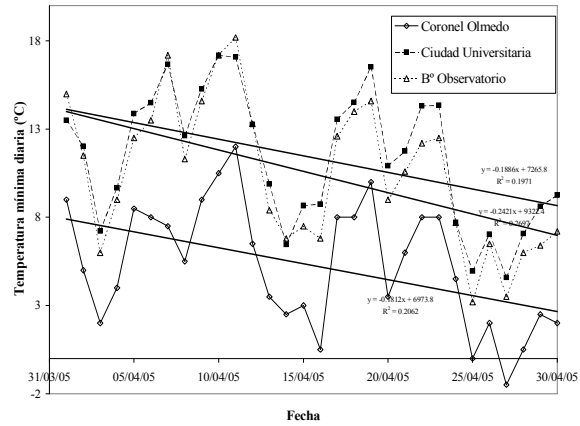


Figura 3. Variación de la temperatura mínima diaria durante el mes de abril de 2005 en las tres estaciones analizadas de la ciudad de Córdoba.

Con respecto a Tmin, se observa que los registros de las 2 estaciones urbanas son muy similares, a pesar de las sus diferentes condiciones de emplazamiento, y que los datos de Coronel Olmedo, en cambio, resultan sistemática y marcadamente inferiores. Al igual que con Tmax, el valor de  $R^2$  entre cualquiera de las estaciones de la ciudad y CO explica sólo 90% de la variabilidad de los registros diarios durante abril (Tabla 2). Hubbard (1994)[7] determinó que para Tmin se requiere de una separación menor entre estaciones (de 30 km) a los efectos de alcanzar el mismo criterio de confianza de Tmax.

Tabla 2. Coeficientes de determinación para la temperatura máxima y la temperatura mínima diarias entre las 3 estaciones comparadas.

	CO	CU	BO
Temperatura máxima (°C)			
Coronel Olmedo (CO)	1		
Ciudad Universitaria (CU)	0.917	1	
B° Observatorio (BO)	0.899	0.982	1
Temperatura mínima (°C)			
Coronel Olmedo (CO)	1		
Ciudad Universitaria (CU)	0.897	1	
B° Observatorio (BO)	0.911	0.949	1

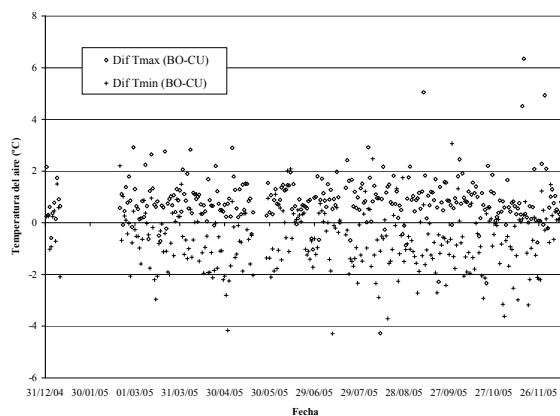
Los menores valores de Tmin en CO se justifican en parte porque se trata de un sensor de la temperatura ubicado directamente sobre el cultivo a 50 cm del suelo, que lo

expone a una mayor amplitud de la onda de variación diaria de la temperatura. Además, el sensor está cubierto de una cápsula metálica y expuesto al aire por detrás de una placa que, si bien impide su calentamiento directo por la radiación solar, no evita la más intensa pérdida radiativa de calor nocturna. Esto se confirmó al medir la temperatura del aire con los sensores de la estación utilizada habitualmente en CO localizados a la par del abrigo donde está ubicado el sensor de temperatura de la estación de CU. Estando en un mismo lugar, el promedio de la diferencia entre los valores de Tmax fue  $-0,1 \pm 1,1$  y el de Tmin fue  $2,9 \pm 0,7$ . Esta diferencia en Tmin, se considera un error sistemático y se corrige.

En la figura 4 se presenta las diferencias absolutas de Tmax y Tmin entre las estaciones de BO y CU. En esta figura se observa que durante todo el año, los registros de Tmax en BO son sistemáticamente superiores ( $0,9 \pm 0,9$ ), mientras que para Tmin ocurre lo opuesto ( $-0,7 \pm 1,1$ ). Este comportamiento puede estar reflejando la situación de mayor elevación respecto del suelo de la estación de CU, como así también una menor influencia del viento en BO por estar emplazada en un ámbito más confinado. Se analizó si existía alguna relación sistemática con la velocidad del viento, la irradiación etc. no encontrándose ninguna tendencia relevante.

#### Radiación solar.

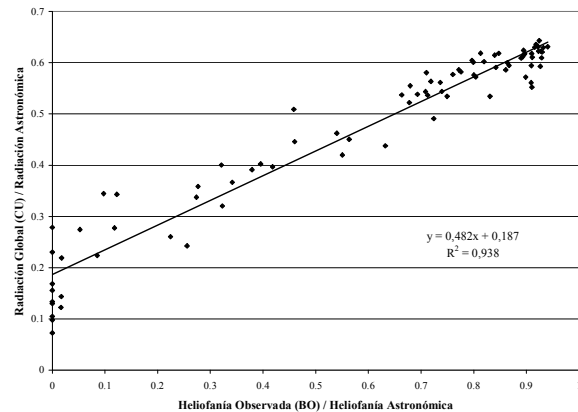
La falta de mediciones de radiación solar es, quizás, la principal carencia en cuanto a la información meteorológica en nuestro país (Righini y Grossi Gallegos, 2003/04)[12]. Por esta razón, en estudios agroclimáticos es frecuente utilizar la información complementaria de heliofanía relativa a fin de estimar la disponibilidad de radiación solar (de la Casa *et al.*, 2003).[11]



**Figura 4.** Diferencia de la Temperatura máxima y de la Temperatura mínima entre BO y CU abarcando casi la totalidad del año 2005.

La Figura 5 presenta el diagrama de dispersión y la curva de ajuste entre los valores de heliofanía relativa y de transmisividad atmosférica, para los 30 días de abril de 2005. El resultado obtenido no difiere en gran medida de la información bibliográfica existente (Rietveld,

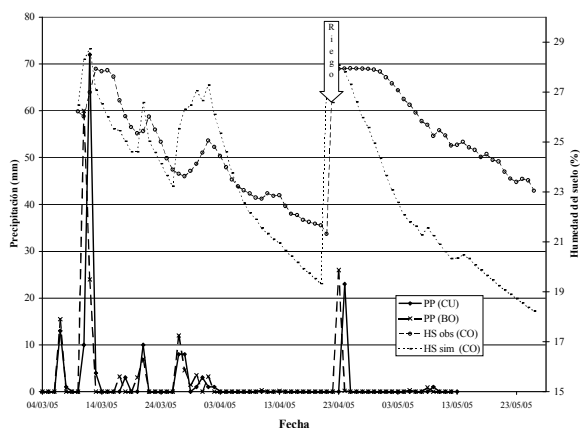
1977).[13] En un análisis similar de mayor extensión, de la Casa *et al.* (2003)[11] obtienen para Córdoba una relación lineal con una pendiente ligeramente inferior de 0,470, aunque la ordenada en ese caso resultó mayor (0,268). Los valores máximos de transmisividad observada para Córdoba están por debajo de lo que estima el modelo [13]. Este resultados verifica lo observado por [11] bajo otras condiciones experimentales, y pone de manifiesto la disminución de la intensidad solar recibida en atmósferas completamente despejadas debido a la influencia urbana por efecto de la polución y la mayor capacidad de condensación atmosférica.



**Figura 5.** Relación entre los valores observados de heliofanía relativa en B° Observatorio (BO) y la transmisividad atmosférica obtenida a partir del radiómetro de Ciudad Universitaria (CU).

#### Precipitación.

El análisis para esta variable se sintetiza en la Figura 6, la que presenta los valores de PP diaria de BO y CU desde el 19/02 al 12/05 de 2005, superpuestos al registro de la humedad de suelo del perfil hasta 40 cm de profundidad observado y simulado a partir del programa Substor (Griffin *et al.*, 1993 [9]) en CO. La precipitación presenta mayor variabilidad espacial que otras variables meteorológicas (Hubbard, 1994 [7]). Rotondo y Seiler (2001) [8] establecieron que la fracción de variabilidad explicada por la PP diaria de Río Cuarto disminuyó rápidamente hacia las áreas circundantes, y a corta distancia (no más de 40 km), los valores de  $R^2$  se ubicaron en 0,60. En este caso, luego de acumular la lluvia diaria de CU desde las 8:00 hs del día previo hasta las 8:00 del actual, de acuerdo al uso meteorológico convencional, el  $R^2$  entre la PP diaria de BO y CU alcanza 0,9 para una separación menor de 2 km. La figura muestra también una relación coherente entre la humedad del suelo observada y simulada, en particular si se considera la reposición por efecto de la lluvia o el riego. Cualquiera de las dos series de lluvia de las estaciones urbanas revelan una convincente asociación con el registro de humedad de suelo de CO, por lo que, en el caso de requerir extrapolar los datos de lluvia de la ciudad para evaluar la dinámica del agua del suelo en CO, la operación sería relativamente segura.



**Figura 6.** Precipitación diaria en B° Observatorio (BO) y Ciudad Universitaria (CU) y variación de la humedad del suelo observada y simulada en el perfil 0-40 cm de profundidad en Coronel Olmedo (CO).

#### IV. CONCLUSIONES

La perturbación térmica asociada a la condición de isla de calor de la ciudad de Córdoba, como así también las particulares condiciones de emplazamiento de las estaciones meteorológicas (una en B° Observatorio y la otra en Ciudad Universitaria), se manifestaron reduciendo la extensión de la región en la que el valor de  $R^2$  entre los registros térmicos de cualquiera de las estaciones de la ciudad y de Coronel Olmedo explica el 90% de la variabilidad, tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima diaria. De todos modos, se observó que la extrapolación de datos meteorológicos desde la ciudad al sector periférico del cinturón verde no ofrece demasiado riesgo de error en razón a su proximidad.

Los registros térmicos de las estaciones de la ciudad son muy similares entre sí, y sus diferencias se explican por las distintas condiciones microclimáticas de emplazamiento que cada una presentan. Ambas estaciones resultan adecuadas para el análisis de los datos de cultivo de la región periférica.

**AGRADECIMIENTOS:** Este trabajo ha sido posible gracias a los subsidios otorgados por el CONICET, y SECyT-UNC. Agradecemos la colaboración del Sr. José Barcelona por su apoyo técnico

#### REFERENCIAS

1. Mc Pherson, E.G., 1994. Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. In Platt, R.H., R.A. Rowntree and P.C. Muick, Eds. The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity. Amherst
2. Akbari, H., A. Rosenfeld y H. Taba, 1990. Recent developments in heat islands studies: Technical and policy. In Controlling Summer Heat Islands, Ed. K. Barbesi et al. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory.

3. Barros, V. e I. Camilloni, 1994. Urban biased trends in Buenos Aires mean temperature. *Clim. Res.*, 4: 33-45.
4. Camilloni, I. y V. Barros, 1997. On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climate Change*, 37: 665-681
5. Fernández Long, M.E., I. Bernatán y G.M. Murphy, 2001. Las heladas en la ciudad de Buenos Aires y en el conurbano bonaerense. *Rev. Arg. de Agrometeorol.*, 1(2): 101-106..
6. Lanfranconi, L.E., E.A. Tuda, M. Buteler, W. Robledo, M. Fontán y R. Beretta. 1987. Situación de contexto del área central bajo riego de la provincia de Córdoba. 100 p. Volumen I: Tomo I y II. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi (Argentina), Centro Regional Córdoba, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
7. Hubbard, K.G., 1994. Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA. *Agric. For. Meteorol.*, 68: 29-41.
8. Rotondo, V.H. y R.A. Seiler, 2001. Red agrometeorológica, mediciones y representatividad espacial para la caracterización del clima regional: Un caso de estudio para el Sur de Córdoba. *Rev. Arg. de Agrometeorol.*, 1(2): 95-99.
9. Griffin, T.S, B.S. Johnson y J.T. Ritchie, 1993. A simulation model for potato growth and development: Substor-potato Version 2.0. IBSNAT Research Report Series 02. 29 p. Dept. of Agronomy and Soil Science, Honolulu, Hawaii, USA.
10. de la Casa, A., A. Rodríguez, R. Accietto, G. Ovando, y L. Bressanini. 2001. Efecto del estrés hídrico en papa (*Solanum tuberosum L.*) sobre el índice de área foliar. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 1(2):43-47.
11. de la Casa, A., G. Ovando y A. Rodríguez, 2003. Estimación de la radiación solar global en la provincia de Córdoba, Argentina, y su empleo en un modelo de rendimiento potencial de papa. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA)*, 32(2):45-62.
12. Righini, R. y H. Grossi Gallegos, 2003/04. Distribución de la heliofania en la Argentina. *Rev. Arg. de Agrometeorol.*, 3-4: 1-7.
13. Rietveld, M.R., 1977. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology* 19:243-525.