

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA EN DOS LOCALIDADES CAFETERAS DE COLOMBIA

Orlando Guzmán Martínez*; John Jairo Ramírez Gaviria**

RESUMEN

GUZMÁN M., O; RAMÍREZ G., J.J. Cálculo de la temperatura en dos localidades cafeteras de Colombia. Cenicafé 55(2):111-129.2004

Se calcularon las temperaturas diurna y nocturna medias y se compararon con las obtenidas mediante diferentes combinaciones abreviadas de horas para establecer si el horario actual de observación es el más preciso y si hay diferencia significativa con el usado antes de 1970, que pueda haber afectado la homogeneidad en las series de temperatura. La combinación más precisa para el cálculo de la temperatura media fue la usada por FNC con diferencias alrededor de 0,3°C en relación con la temperatura patrón. El horario en uso es aceptable y no difiere del primero en más de 0,1°C. La combinación que emplea la (mínima + máxima)/2 dió errores aproximadamente de 1°C y no se aconseja usarla para calcular esta variable. El horario para la temperatura diurna más adecuado correspondió a (08:00+13:00+17:00)/3 con errores de 0,3°C. La temperatura nocturna se calcula con buena precisión a través de la combinación (20:00+01:00+05:00)/3 y sus diferencias con el patrón llegan a 0,2°C. Las 09:00 horas resultaron las más representativas para la temperatura media, las 11:00 horas para la temperatura diurna con desviaciones de cerca de 1,0°C y las 24:00 horas para la temperatura nocturna con buena precisión. La temperatura mínima ocurre entre las 05:00 y las 06:00 y la máxima entre las 15:00 y las 16:00. La temperatura media diurna fue mayor en unos 2,0°C respecto a la media diaria y a su vez, entre 3 y 4°C superior a la nocturna.

Palabras claves: Colombia, zona cafetera, estación meteorológica automática, horario de observación, temperatura.

ABSTRACT

The average daily reference temperatures were calculated and compared to those obtained through different abbreviated hours combinations to find out if the current observation schedule is the most precise and if the one used before 1970 has a meaningful difference that can have affected the homogeneity in the temperature series. The most precise combination for the average temperature calculation was used by the FNC with differences around 0.3°C in relation to the pattern temperature. The schedule in use is acceptable and does not differ from the first one in more than 0.1%. The combination that uses (minimum + maximum)/2 exhibited mistakes of approximately 1°C and it is not recommended for calculating this variable. The most appropriate schedule for the day temperature corresponded to (08:00+13:00+17:00)/3 with mistakes of 0.3°C. The night temperature is calculated with good accuracy through the combination (20:00+01:00+05:00)/3 and its differences with the pattern reach 0.2°C. Regarding the individual hours, 09:00 hours were the most representative for the average temperature, 11:00 hours for day temperature with deviations of about 1.0°C and 24:00 hours for night temperature with good accuracy. The minimum temperature occurrence is between 05:00 and 06:00, and for the maximum temperature between 15:00 and 16:00. The average day temperature was the highest in about 2.0°C with respect to the day average temperature and, at the same time, between 3.0 and 4.0°C higher than the night temperature.

Keywords: Colombia, coffee zone, automatic meteorological station, observation schedule, temperature.

* Investigador Científico I. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Auxiliar III de Investigación. Sistemas. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé hasta Julio de 2001. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La medición de las variables climáticas en tierra y mar (precipitación, temperatura, humedad relativa, brillos solar, etc.) se insinuó desde mediados de 1800 en países como Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Rusia. Sin embargo, en esta primera época aún se carecía de instrumentos estandarizados y de métodos y horarios definidos de observación. El primer paso hacia la normalización de las observaciones meteorológicas a nivel mundial se dió en el primer Congreso de Directores de Servicios Meteorológicos sostenido en 1873 en Viena, mediante la creación de la Organización Meteorológica Internacional. Posteriormente, ésta en 1951 se convirtió en una agencia especializada de las Naciones Unidas con el nombre de Organización Meteorológica Mundial - OMM y se consolidó aún más el sistema de redes meteorológicas globales con el uso de satélites y otros equipos automáticos avanzados; además, del establecimiento de sistemas ágiles de telecomunicaciones para la transmisión rápida de los registros meteorológicos, análisis, pronósticos y avisos (1).

Las series climatológicas deben ser homogéneas, de manera que reflejen solamente las variaciones del tiempo y del clima (3). No obstante, en la práctica las series largas con frecuencia no muestran homogeneidades lo cual afecta sus propiedades estadísticas.

En el caso específico de la temperatura los factores que normalmente introducen las inconsistencias incluyen descalibración del instrumental, cambio en los instrumentos y en los observadores, las casetas, los sitios, los horarios de observaciones y urbanización de los alrededores (8, 13, 14). Es imperativo examinar las series de clima para identificar alguno de estos factores señalados y proceder a los ajustes pertinentes. Ello se hace aún más necesario si se tiene en cuenta la actual problemática del cambio climático originada en la emisión continuada desde la revolución industrial de los gases de efecto de invernadero

como el CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , entre otros, y que son causa de que la temperatura de la tierra se haya aumentado en cerca de $0,5^\circ\text{C}$ (12, 18).

Estudios sobre este campo y otros más, requieren contar con series homogéneas para poder sacar conclusiones válidas.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo principal evaluar varios horarios para calcular la temperatura media del aire incluyendo el actual $(07:00+13:00+19:00+19:00)/4$ y el que se usaba de 1970 hacia atrás $(07:00+14:00+20:00+20:00)/4$ a fin de conocer, en primer término, si existe una combinación de horas que dé un cálculo más preciso, y en segundo lugar, si el cambio anotado ha introducido inhomogeneidades en la series del Servicio Meteorológico de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - FNC.

Adicionalmente, se han examinado diferentes combinaciones horarias para estimar las temperaturas diurnas y nocturnas medias diarias así como horas individuales en el cálculo de estas dos últimas variables y la temperatura media diaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La estación climatológica principal El Rosario, se encuentra dentro de la granja experimental del mismo nombre en el municipio de Venecia, Antioquia. Perteneció al ecotopo 203A y tiene por coordenadas geográficas $05^\circ 58'$ de latitud norte, $75^\circ 43'$ de longitud oeste y una altitud de 1.600m.

La estación climatológica principal Cenicafé se halla en la sede del Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía" - Cenicafé en el municipio de Chinchiná, Departamento de Caldas. Se ubica en el ecotopo 206A a $05^\circ 00'$ de latitud norte, $75^\circ 36'$ de longitud oeste y una altitud de 1.310m.

Los dos sitios forman parte de la red meteorológica de FNC (5) y sus principales características climáticas se resumen en la Tabla 1 (4).

Instrumental e información utilizados. Dos estaciones meteorológicas automáticas Adlas se emplazaron en predios de las estaciones climatológicas convencionales de Cenicafé y El Rosario. Para la medición de la temperatura del aire se usó un sensor compuesto por un termómetro de resistencia Pt100 con precisión de 0,1°C (10). Éste está protegido de la radiación solar y la lluvia con un abrigo de aluminio anodizado que permite una ventilación adecuada y se expuso en un mástil a la altura recomendada por la OMM (19). La información se guardó a través de un almacenador de datos (datalogger) en una tarjeta con capacidad de 256 KB (9).

El equipo se programó para leer los sensores cada minuto y luego hacer un consolidado horario. Como fuente de energía se utilizó una batería de 12V acoplada a un panel solar (16), con lo cual se aseguró la continuidad, la integridad y la confiabilidad de las medidas. Los datos se registraron durante el período 1994-1995 y la pérdida total de información fue inferior al 0,06%.

Análisis. La información obtenida en las estaciones automáticas se verificó teniendo como base aquella registrada en sus respectivas estaciones convencionales.

La temperatura media diaria patrón en Cenicafé y El Rosario para cada uno de los meses se calculó a partir de los datos horarios de las 24:00 a las 24:00 horas del día siguiente (24 horas) y ésta se comparó con la temperatura media diaria estimada a través de las siguientes combinaciones de horas:

$$(7+13+18)/3, (7+13+18+18)/4, (7+13+19)/3, (7+13+19+19)/4 \text{ (horario actual de FNC), } (7+14+20)/3, (7+14+20+20)/4 \text{ (horario hasta 1970), } (8+14+17)/3, (8+14+20)/3, (8+14+20+20)/4, (9+13+18)/3, (9+14+17)/3, (9+14+18)/3 \text{ y (mínima + máxima)/2.}$$

Así mismo, se derivó la temperatura media diaria diurna (6:00 - 18:00 horas) y nocturna (18:00 - 06:00 horas) para compararlas con las obtenidas de las agrupaciones de horas que se detallan a continuación.

Temperatura diurna

$$(7+12+18)/3, (7+14+18)/3, (8+13+17)/3, (8+13+18)/3, (8+14+17)/3, (9+13+17)/3, (9+13+18)/3, (9+14+17)/3, (9+14+18)/3, (10+13+18)/3, (10+14+17)/3, (10+14+18)/3 \text{ y (mínima + máxima)/2.}$$

Temperatura nocturna

$$(19+24+6)/3, (20+1+5)/3, (20+1+6)/3, (21+1+5)/3, (21+1+6)/3, (21+2+6)/3, (22+1+5)/3, (22+1+6)/3 \text{ y (mínima + máxima)/2.}$$

Se examinó la fórmula cosenoidal propuesta por Petricevic, citado por Oldeman y Frère

Tabla 1. Valores promedios históricos anuales de algunas variables climáticas en las estaciones climatológicas Cenicafé (1957-1993) y El Rosario (1967-1993).

Estación	Temperatura (°C)			HumedadRelativa (%)	Lluvia(mm)	Brillo Solar(horas)
	Media	Mínima	Máxima			
Cenicafé	21,0	16,7	27,5	77	2.510	1.842
El Rosario	20,1	15,8	24,7	74	2.504	2.090

(11), para el cálculo de la temperatura diurna y nocturna cuya expresión es como sigue:

$$T_{diurna} = T_{media} + \left(\frac{(T_{max} - T_{min}) \times (11 + t_0)}{4 \times 3.14(12 - t_0)} \right) \times \text{Sen} \frac{3.14(11 - t_0)}{11 + t_0}$$

$$T_{nocturna} = T_{media} - \left(\frac{(T_{max} - T_{min}) \times (11 + t_0)}{4 \times 3.14(12 - t_0)} \right) \times \text{Sen} \frac{3.14(11 - t_0)}{11 + t_0}$$

donde:

T_{max} = Temperatura máxima en °C
T_{min} = Temperatura mínima en °C
t₀ = 12-0.5 N
N = Longitud máxima astronómica del día en horas

Igualmente, se ensayaron las fórmulas obtenidas por Rojas (15) así:

$$T_d = \frac{2(T_{max}) + T_{min}}{3}$$

$$T_n = \frac{T_{max} + 2(T_{min})}{3}$$

donde:

T_d = Temperatura diurna en °C
T_n = Temperatura nocturna en °C
T_{max} = Temperatura máxima en °C
T_{min} = Temperatura mínima en °C

La cuantificación de las desviaciones de la temperatura se realizó a través del denominado método de la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RECM) cuya fórmula es:

$$RECM = \left[\sum_1^n \left(\frac{V_p - V_c}{n-1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

RECM = Raíz cuadrada del error cuadrático medio
V_p = Variable patrón (temperatura)
V_c = Variable calculada
n = Número de datos

Finalmente, se seleccionaron varias horas individuales que permitieran tener una aproximación de la temperatura media (08:00, 09:00, 10:00, 11:00 y 12:00 horas), temperatura media diurna (09:00, 10:00, 11:00 y 12:00 horas) y media nocturna (19:00, 23:00, 24:00, 01:00 y 02:00 horas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura diaria. En las Figuras 1 y 2 se presenta el comportamiento de la temperatura media (24:00-24:00 horas) y la calculada por combinaciones de horas seleccionadas y en la Tabla 2 las desviaciones absolutas promedias así como la RECM para Cenicafé y El Rosario.

Se observa que la fórmula empleada por el Servicio Meteorológico de FNC hasta el año de 1970 $(7+14+20+20)/4$ tiene las desviaciones absolutas medias menores entre 0,30 y 0,34°C (extremos de 0,20 y 0,43°C) y la menor RECM (0,32-0,35). Un resultado similar fue obtenido por Eslava (6) con una serie de temperatura de 1941-1960 en la Estación Observatorio Meteorológico Nacional situada en Bogotá D.C. e igualmente por Trojer (17). A pesar de su precisión, esta fórmula ya no está en uso debido a problemas de índole práctica en la toma de la lectura a las 20:00 horas en las estaciones meteorológicas.

La fórmula actualmente empleada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y otros servicios particulares que incluyen al de FNC $(7+13+19+19)/4$ mostró un comportamiento adecuado no muy diferente al del horario anterior con desviaciones de 0,40 a 0,46°C (extremos de 0,26 y 0,66°C) y una RECM de 0,42 a 0,45. Estas desviaciones están cercanas a las encontradas por Jiménez y Sabogal alrededor de 0,5°C, (7) en la estación sinóptica El Dorado, para el período de 1971-1980 pero más alejadas de aquellas (0,7°C) derivadas por Eslava (6).

Otras combinaciones de horas para el cálculo de la temperatura media que tuvieron un desempeño similar a las anteriores y que se pueden considerar como otra alternativa fueron las de $(7+13+19)/3$ y $(7+14+20)/3$ (errores inferiores a $0,5^{\circ}\text{C}$ y RECM bajos).

Los demás horarios no son aconsejables para estimar la temperatura media puesto que las desviaciones empiezan a acercarse a un $1,0^{\circ}\text{C}$ y ya no son aceptables, particularmente si se considera que esta variable debe tener errores por debajo de $0,5^{\circ}\text{C}$ (19).

Se visualiza que las fórmulas que incluyen horas superiores a las 07:00 aunque serían más convenientes desde el punto de vista práctico no funcionan bien en razón de que a esas horas el aire empieza a tener un calentamiento importante y se sobrestimaría la temperatura media. Se destaca que la estimación de la temperatura media con base en las temperaturas extremas $(\text{mínima} + \text{máxima})/2$ produce diferencias alrededor de $1,0^{\circ}\text{C}$ y no se recomienda su uso. Este resultado es contrario al hallado en el trabajo de Eslava (6), en donde fue una de las más ajustadas, pero está de acuerdo con lo estu-

Figura 1.
Comparación de la temperatura media diaria con la calculada mediante horarios seleccionados. Estación Cenicafé.

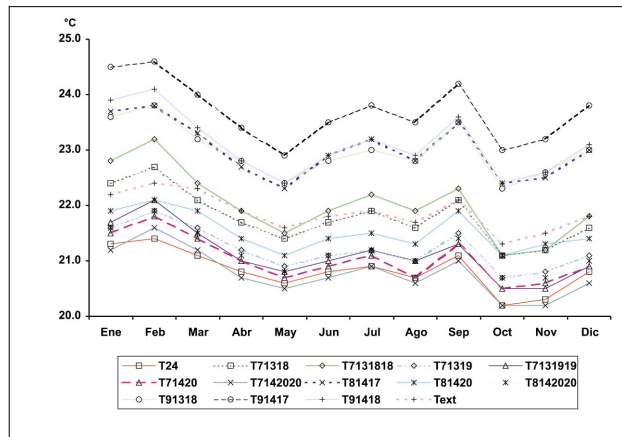


Figura 2.
Comparación de la temperatura media diaria con la calculada mediante horarios seleccionados. Estación El Rosario.

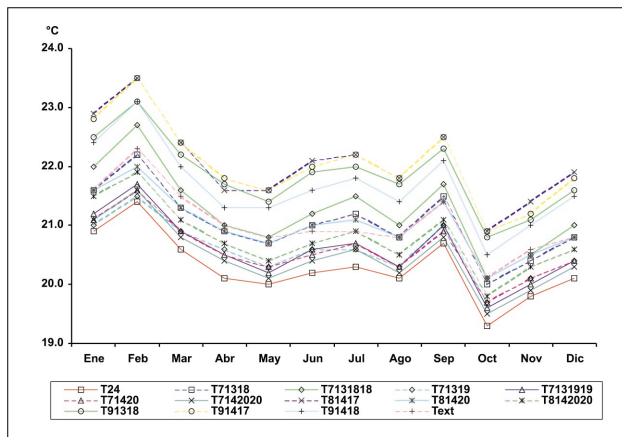


Tabla 2. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (3) durante el período 1994 -1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA												RECM**
		ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	
7+13+18/3	1	1,04	1,23	1,00	0,94	0,86	0,83	0,94	0,89	1,01	0,90	0,91	0,88	1,00
	2	0,75	0,91	0,69	0,82	0,72	0,85	0,87	0,71	0,79	0,71	0,63	0,69	0,80
7+13+18+18/4	1	1,48	1,76	1,25	1,15	1,00	1,03	1,25	1,22	1,21	0,94	0,87	1,06	1,26
	2	1,24	1,44	0,94	0,91	0,90	1,07	1,21	1,00	1,02	0,79	0,75	0,94	1,08
7+13+19/3	1	0,33	0,51	0,50	0,45	0,43	0,30	0,32	0,38	0,44	0,53	0,51	0,38	0,45
	2	0,28	0,32	0,37	0,51	0,40	0,44	0,37	0,28	0,37	0,44	0,36	0,29	0,39
7+13+19+19/4	1	0,38	0,66	0,50	0,45	0,38	0,27	0,32	0,39	0,37	0,42	0,30	0,32	0,42
	2	0,43	0,57	0,43	0,46	0,40	0,46	0,52	0,35	0,42	0,39	0,35	0,33	0,45
7+14+20/3	1	0,28	0,41	0,42	0,35	0,40	0,29	0,25	0,31	0,34	0,42	0,38	0,33	0,37
	2	0,31	0,38	0,34	0,53	0,37	0,38	0,41	0,34	0,39	0,44	0,34	0,31	0,40
7+14+20+20/4	1	0,28	0,35	0,29	0,31	0,38	0,31	0,20	0,31	0,33	0,28	0,29	0,35	0,32
	2	0,30	0,39	0,31	0,43	0,32	0,31	0,40	0,32	0,38	0,34	0,29	0,26	0,35
8+14+17/3	1	2,35	2,38	2,14	1,92	1,78	2,08	2,22	2,12	2,40	2,21	2,17	2,25	2,27
	2	2,02	2,16	1,74	1,51	1,64	1,83	1,93	1,75	1,85	1,60	1,66	1,77	1,87
8+14+20/3	1	0,58	0,71	0,75	0,63	0,63	0,64	0,57	0,62	0,84	0,97	0,92	0,72	0,76
	2	0,74	0,72	0,71	0,85	0,67	0,74	0,83	0,70	0,74	0,78	0,74	0,69	0,77
8+14+20+20/4	1	0,33	0,50	0,44	0,42	0,41	0,39	0,31	0,39	0,50	0,51	0,40	0,37	0,44
	2	0,64	0,62	0,52	0,64	0,43	0,52	0,66	0,52	0,58	0,54	0,53	0,51	0,59
9+13+18/3	1	2,32	2,36	2,09	2,00	1,91	1,99	2,05	2,08	2,38	2,16	2,25	2,24	2,25
	2	1,69	1,77	1,52	1,61	1,44	1,63	1,68	1,58	1,67	1,45	1,36	1,49	1,65
9+14+17/3	1	3,20	3,16	2,82	2,56	2,37	2,72	2,90	2,81	3,13	2,80	2,85	3,03	3,00
	2	1,53	1,79	1,32	1,16	1,29	1,41	1,50	1,33	1,39	1,21	1,23	1,34	1,44
9+14+18/3	1	2,57	2,68	2,26	2,01	1,86	2,09	2,21	2,16	2,50	2,20	2,28	2,32	2,37
	2	2,00	2,11	1,71	1,67	1,60	1,74	1,94	1,73	1,82	1,55	1,45	1,63	1,83
Mín+Máx/2	1	0,87	1,00	1,13	1,08	0,99	0,96	0,96	0,96	1,03	1,15	1,14	1,02	1,07
	2	0,74	0,92	0,87	0,84	0,76	0,70	0,64	0,68	0,74	0,78	0,82	0,70	0,80

* Promedio de 24 horas (24:00 a 24:00 horas).

** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

diado por Trojer en Chinchiná (17). Esta fórmula se utiliza comúnmente en las latitudes medias con buenos resultados pero en el trópico no muestra ser una buena alternativa debido a la corta duración de los valores extremos.

La diferencia entre la temperatura media estimada con la fórmula de FNC y la actual es de aproximadamente 0,1°C, lo cual indica que no ameritaría volver a calcularla partiendo de los registros originales desde 1970 hacia atrás, cuando se usaba este horario. Sin embargo, es conveniente hacer un muestreo en otras áreas de la zona cafetera colombiana para verificar si el resultado se mantiene.

Es de anotar, que los distintos métodos abreviados de cálculo de la temperatura media diaria (combinaciones horarias), sobrestimaron la temperatura en comparación con la temperatura media obtenida con base en las 24 horas.

Temperatura diurna. En las Figuras 3 y 4 se indica la temperatura media diurna (06:00-18:00 horas) y la estimada con horas seleccionadas y en la Tabla 3 las desviaciones absolutas medias y las respectivas RECM en Cenicafé y El Rosario.

Se identificaron cuatro combinaciones de horas que tienen diferencias promedias bajas

Figura 3.
Comparación de la temperatura media diaria con la calculada con horarios seleccionados. Estación Cenicafé.

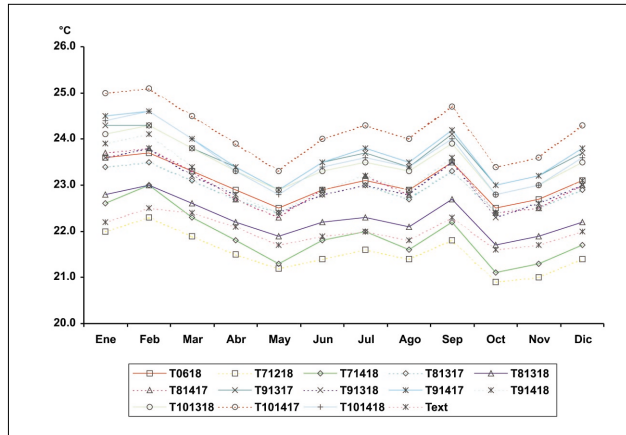


Figura 4.
Comparación entre la temperatura media diurna y la calculada con horarios seleccionados. Estación El Rosario.

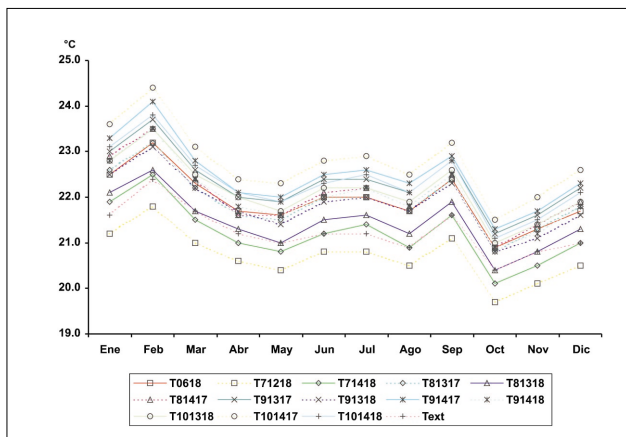


Tabla 3. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media diurna diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (2) durante el período 1994 - 1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA												RECM**
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
7+12+18/3	1	1,61	1,45	1,48	1,40	1,33	1,49	1,55	1,50	1,71	1,61	1,72	1,75	1,62
	2	1,29	1,39	1,24	1,01	1,14	1,19	1,14	1,19	1,26	1,13	1,17	1,20	1,25
7+14+18/3	1	1,04	0,74	1,03	1,13	1,18	1,18	1,08	1,25	1,35	1,33	1,44	1,43	1,25
	2	0,59	0,66	0,83	0,68	0,75	0,81	0,60	0,74	0,79	0,77	0,79	0,77	0,76
8+13+17/3	1	0,29	0,28	0,33	0,33	0,30	0,28	0,27	0,36	0,28	0,36	0,32	0,32	0,32
	2	0,26	0,26	0,32	0,33	0,29	0,29	0,27	0,24	0,30	0,27	0,27	0,26	0,29
8+13+18/3	1	0,86	0,71	0,81	0,70	0,67	0,76	0,80	0,84	0,82	0,75	0,81	0,95	0,83
	2	0,41	0,62	0,58	0,44	0,56	0,52	0,45	0,48	0,53	0,47	0,48	0,48	0,52
8+14+17/3	1	0,29	0,25	0,29	0,42	0,39	0,37	0,31	0,38	0,33	0,39	0,39	0,33	0,36
	2	0,45	0,39	0,39	0,38	0,32	0,34	0,34	0,31	0,30	0,31	0,35	0,38	0,37
9+13+17/3	1	0,64	0,57	0,53	0,54	0,53	0,57	0,62	0,63	0,58	0,52	0,53	0,58	0,60
	2	0,59	0,61	0,41	0,43	0,39	0,44	0,42	0,51	0,44	0,40	0,45	0,48	0,49
9+13+18/3	1	0,27	0,28	0,35	0,35	0,36	0,29	0,27	0,36	0,30	0,35	0,31	0,36	0,34
	2	0,24	0,35	0,33	0,30	0,28	0,31	0,24	0,30	0,27	0,23	0,28	0,26	0,30
9+14+17/3	1	0,89	0,88	0,66	0,57	0,53	0,70	0,77	0,76	0,69	0,61	0,54	0,70	0,73
	2	0,88	0,88	0,56	0,50	0,54	0,55	0,65	0,64	0,55	0,47	0,55	0,62	0,65
9+14+18/3	1	0,36	0,46	0,36	0,35	0,36	0,27	0,27	0,33	0,27	0,31	0,26	0,32	0,34
	2	0,43	0,48	0,31	0,30	0,31	0,33	0,36	0,33	0,28	0,26	0,23	0,27	0,34
10+13+18/3	1	0,53	0,59	0,55	0,52	0,50	0,41	0,43	0,47	0,50	0,43	0,38	0,46	0,50
	2	0,38	0,46	0,42	0,44	0,30	0,38	0,36	0,38	0,35	0,31	0,24	0,31	0,38
10+14+17/3	1	1,39	1,38	1,18	1,00	0,87	1,09	1,23	1,17	1,15	0,97	0,89	1,14	1,18
	2	1,14	1,23	0,87	0,75	0,80	0,85	0,88	0,88	0,83	0,69	0,71	0,87	0,93
10+14+18/3	1	0,76	0,91	0,66	0,51	0,51	0,47	0,55	0,56	0,55	0,46	0,40	0,51	0,61
	2	0,66	0,72	0,48	0,51	0,44	0,47	0,56	0,47	0,46	0,36	0,30	0,41	0,52
Mín+Máx/2	1	1,41	1,27	1,01	0,91	0,87	1,09	1,11	1,19	1,32	0,87	1,01	1,23	1,17
	2	0,86	0,91	0,71	0,54	0,61	0,76	0,77	0,79	0,78	0,57	0,56	0,74	0,76

* Promedio de 12 horas (06:00 a 18:00 horas).

** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

(alrededor de $0,32^{\circ}\text{C}$) con respecto a la temperatura media diurna de referencia como sigue: $(8+13+17)/3$, $(8+14+17)/3$, $(9+13+18)/3$ y $(9+14+18)/3$. Sin embargo, la primera y la tercera muestran RECM menores (entre 0,29 y 0,34) que permiten ser utilizadas para una estimación más precisa de la temperatura diurna diaria. Estas dos fórmulas tienen la tendencia a subestimar ligeramente la temperatura.

El empleo de los valores extremos (mínima + máxima)/2 en este caso tampoco dió resultados aceptables ya que subestiman la temperatura en alrededor de $1,0^{\circ}\text{C}$.

Temperatura nocturna. En las Figuras 5 y 6 aparece la temperatura nocturna (18:00-06:00) junto con la calculada con horas seleccionadas y en la Tabla 4 las desviaciones absolutas medias y las RECM para Cenicafé y El Rosario.

Se tiene que todas las combinaciones de horas usadas muestran un adecuado comportamiento (RECM bajos entre 0,13 y 0,46). Se destacan los horarios $(20+01+05)/3$, $(20+01+06)/3$, $(21+01+05)/3$ y $(21+01+06)/3$, cuyas desviaciones en comparación con la temperatura patrón son inferiores a $0,3^{\circ}\text{C}$. La temperatura obtenida con estas combinaciones tiende a subestimar la temperatura real. El horario más preciso

Figura 5.
Comparación entre la temperatura media nocturna y la calculada con horarios seleccionados.
Estación Cenicafé.

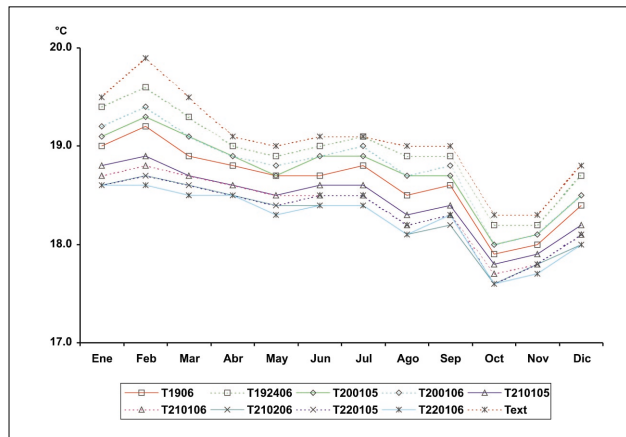


Figura 6.
Comparación entre la temperatura media nocturna y la calculada con horarios seleccionados.
Estación El Rosario.

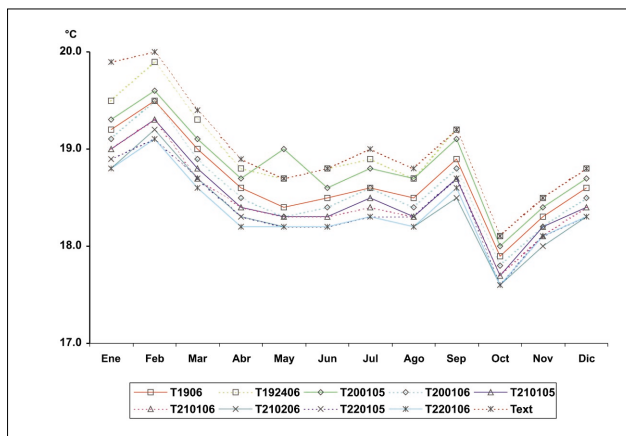


Tabla 4. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media nocturna diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (2) durante el período 1994 - 1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA												RECM**
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
7+12+18/3	1	1,61	1,45	1,48	1,40	1,33	1,49	1,55	1,50	1,71	1,61	1,72	1,75	1,62
	2	1,29	1,39	1,24	1,01	1,14	1,19	1,14	1,19	1,26	1,13	1,17	1,20	1,25
19+24+06/3	1	0,38	0,47	0,36	0,26	0,25	0,23	0,29	0,33	0,33	0,30	0,24	0,30	0,33
	2	0,28	0,35	0,24	0,23	0,22	0,26	0,27	0,23	0,27	0,19	0,17	0,20	0,25
20+01+05/3	1	0,12	0,17	0,13	0,10	0,09	0,13	0,14	0,12	0,14	0,12	0,10	0,12	0,13
	2	0,10	0,13	0,13	0,12	0,52	0,13	0,14	0,16	0,16	0,13	0,11	0,13	0,20
20+01+06/3	1	0,19	0,19	0,16	0,15	0,13	0,16	0,17	0,14	0,18	0,12	0,13	0,17	0,16
	2	0,15	0,16	0,18	0,14	0,15	0,16	0,18	0,21	0,20	0,15	0,12	0,15	0,17
21+01+05/3	1	0,27	0,33	0,25	0,17	0,18	0,20	0,23	0,24	0,23	0,18	0,17	0,21	0,23
	2	0,23	0,27	0,20	0,17	0,16	0,22	0,22	0,19	0,21	0,17	0,15	0,18	0,21
21+01+06/3	1	0,36	0,38	0,29	0,22	0,23	0,24	0,29	0,31	0,28	0,21	0,21	0,28	0,29
	2	0,29	0,31	0,27	0,21	0,22	0,25	0,26	0,26	0,26	0,20	0,18	0,22	0,26
21+02+06/3	1	0,45	0,49	0,38	0,32	0,29	0,32	0,40	0,43	0,40	0,31	0,28	0,37	0,39
	2	0,42	0,40	0,36	0,29	0,28	0,36	0,38	0,37	0,39	0,27	0,27	0,32	0,36
22+01+05/3	1	0,40	0,50	0,38	0,28	0,29	0,27	0,34	0,38	0,31	0,29	0,25	0,31	0,35
	2	0,38	0,43	0,30	0,27	0,23	0,29	0,32	0,28	0,27	0,26	0,22	0,28	0,31
22+01+06/3	1	0,48	0,55	0,42	0,34	0,33	0,32	0,39	0,44	0,36	0,32	0,29	0,38	0,41
	2	0,45	0,47	0,37	0,32	0,28	0,34	0,36	0,34	0,32	0,28	0,26	0,32	0,36
Mín+Máx/2	1	0,54	0,75	0,52	0,38	0,36	0,31	0,36	0,43	0,41	0,36	0,33	0,41	0,46
	2	0,37	0,49	0,35	0,33	0,27	0,31	0,32	0,27	0,32	0,26	0,23	0,24	0,33

* Promedio de 12 horas (18:00 a 06:00 horas).

** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

corresponde a aquel de (20+01+05)/3 con un error de aproximadamente 0,12°C y una RECM entre 0,13 y 0,20.

Los ajustes de las fórmulas que calculan la temperatura nocturna son mejores en relación con los correspondientes a las variables diurnas debido a que en la noche ante la ausencia de la radiación solar (menor turbulencia), las condiciones se estabilizan más rápido y se mantienen hasta la mañana siguiente.

Temperatura diurna y nocturna estimadas con otras ecuaciones. En las Figuras 7 y 8, y la Tabla 5, se ilustra el desempeño y las diferencias de la temperatura diurna y nocturna medias de referencia y la estimada con otras ecuaciones en Cenicafé y El Rosario.

Se observa que las dos fórmulas usadas sobrestiman la temperatura diurna en comparación con la calculada con los valores medi-

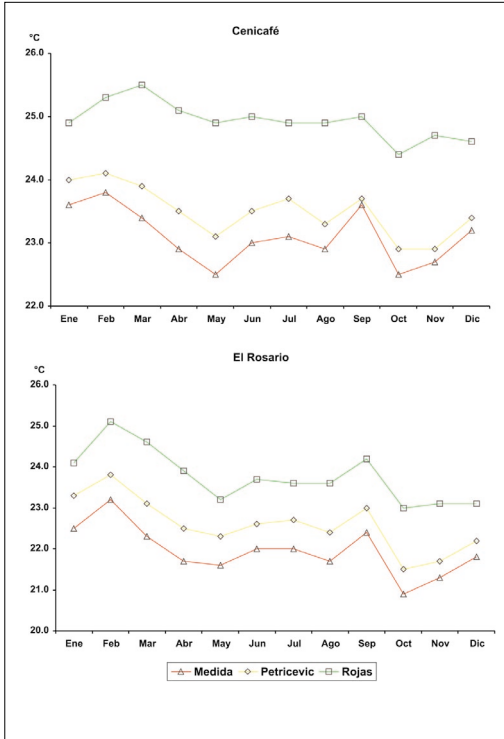


Figura 7. Comparación de la temperatura media diurna con la estimada mediante ecuaciones.

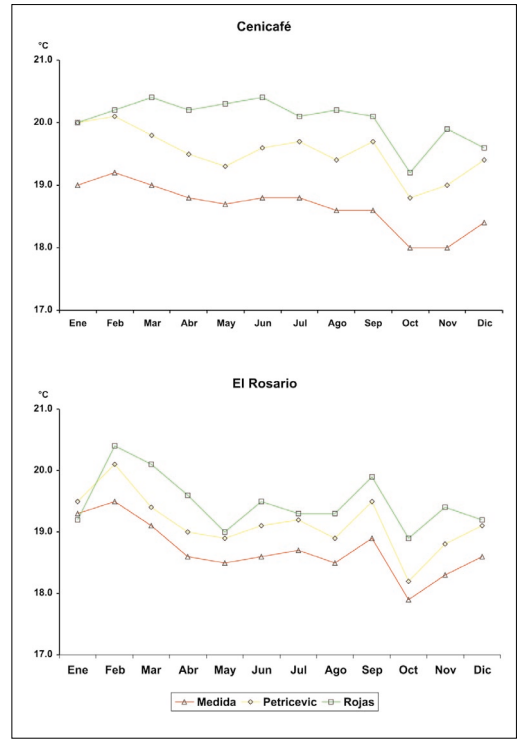


Figura 8. Comparación de la temperatura media nocturna con la estimada mediante ecuaciones.

Tabla 5. Diferencias medias entre las temperaturas diurnas y nocturnas y las estimadas con otras fórmulas (1994 - 1995).

Estación	Dif.	MES/DIFERENCIA											RECM**
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	
Cenicafé	Td - Tp	-0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,4	-0,1	-0,4	-0,2	-0,2
	Td - Tr	-1,3	-1,5	-2,1	-2,2	-2,4	-2,0	-1,8	-2,0	-1,4	-1,9	-2,0	-1,4
El Rosario	Td - Tp	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,4	-0,4
	Td - Tr	-1,6	-1,9	-2,3	-2,2	-1,6	-1,7	-1,6	-1,9	-1,8	-2,1	-1,8	-1,3
Cenicafé	Tn - Tp	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,8	-0,9	-0,8	-1,1	-0,8	-1,0	-1,0
	Tn - Tr	-1,0	-1,0	-1,4	-1,4	-1,6	-1,6	-1,3	-1,6	-1,5	-1,2	-1,9	-1,2
El Rosario	Tn - Tp	-0,2	-0,6	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,6	-0,3	-0,5	-0,5
	Tn - Tr	0,1	-0,9	-1,0	-1,0	-0,5	-0,9	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-1,1	-0,6

Td : Temperatura diurna (°C)

Tp : Temperatura Petricevic (°C)

Tn : Temperatura nocturna (°C)

Tr : Temperatura Rojas (°C)

dos en las dos localidades. La primera (Rojas) tiene las desviaciones mayores entre 1,3 y 2,4°C en tanto que la segunda (Petricevic) muestra errores más bajos de 0,1 a 0,8°C, posiblemente debido a que tiene un fundamento matemático más sólido. La explicación de estas diferencias también puede radicar en que se derivaron en condiciones climáticas diferentes.

Con respecto a la temperatura nocturna se nota la misma tendencia señalada para la temperatura diurna, aunque en este caso las diferencias se reducen un poco con la fórmula de Rojas.

De lo expuesto, se deduce que las dos ecuaciones empleadas solamente suministran un estimativo aproximado de las temperaturas diurna y nocturna ya que sus errores están por encima de 0,5°C.

Estimación de la temperatura con base en una sola hora

Temperatura media. En las Figuras 9 y 10 se indica la temperatura patrón (media de 24 horas) y la obtenida con horas individuales y en la Tabla 6 las desviaciones absolutas promedias y sus respectivas RECM.

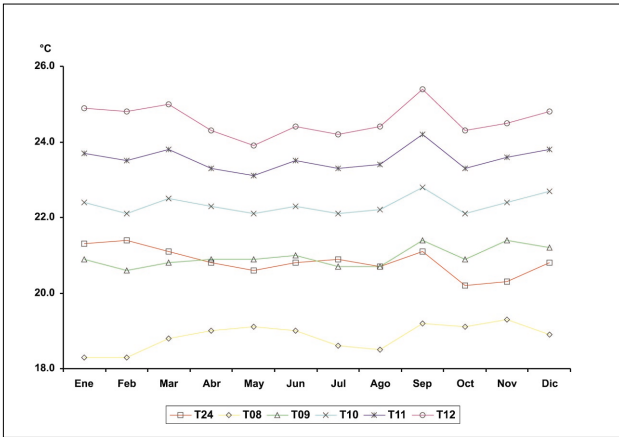


Figura 9. Comparación entre la temperatura media diaria y la de horas individuales. Estación Cenicafé.

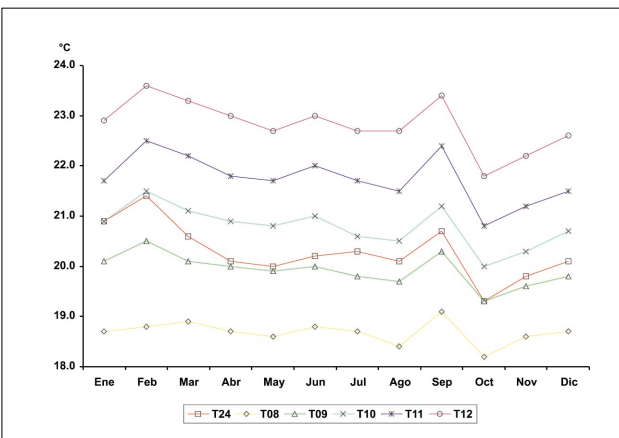


Figura 10. Comparación entre la temperatura media diaria y la de horas individuales. Estación El Rosario.

Tabla 6. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (2) durante el período 1994 - 1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA											RECM**	
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.		Dic.
8	1	2,98	3,14	2,35	1,89	1,55	1,81	2,34	2,18	1,95	1,41	1,29	1,97	2,24
	2	2,17	2,54	1,80	1,56	1,44	1,49	1,70	1,75	1,67	1,15	1,21	1,51	1,78
9	1	0,83	0,97	0,87	0,88	1,09	0,81	0,89	0,86	0,97	1,20	1,28	1,07	1,03
	2	0,82	0,99	0,85	0,80	0,88	0,80	1,00	0,90	0,79	0,71	0,60	0,68	0,86
10	1	1,26	0,99	1,46	1,70	1,69	1,59	1,34	1,52	1,90	2,01	2,14	2,01	1,74
	2	0,57	0,65	0,90	1,07	1,07	1,01	0,90	0,86	0,75	1,03	0,64	0,67	0,90
11	1	2,51	2,11	2,64	2,55	2,60	2,67	2,38	2,69	3,21	3,12	3,26	3,02	2,87
	2	0,92	1,14	1,71	1,79	1,75	1,82	1,49	1,54	1,75	1,60	1,45	1,34	1,61
12	1	3,66	3,34	3,89	3,53	3,42	3,60	3,32	3,67	4,30	4,11	4,20	4,09	3,94
	2	2,02	2,24	2,67	2,90	2,70	2,79	2,39	2,61	2,71	2,49	2,44	2,42	2,65

* Promedio de 24 horas (24:00 a 24:00 horas).

** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

De las horas ensayadas las 09:00 horas registró las desviaciones menores de cerca de 1,0°C para la temperatura con RECM de 0,86 a 1,03 y valores extremos medios de 0,60 a 1,28.

Con excepción de las 08:00 horas, los otros horarios (10:00, 11:00 y 12:00) sobrestiman la temperatura.

Lo anterior muestra que se tiene únicamente una aproximación al valor real, ya que es entendible que una sola hora no es suficiente para obtener buena precisión. Las horas de la tarde (13:00 a 18:00 horas) no son indicadores adecuados puesto que sus valores son superiores a los registrados en la jornada diurna (06:00 - 12:00 horas) y de ahí que no se tuvieron en cuenta. Las otras horas examinadas como fueron las 08:00, 10:00, 11:00 y 12:00 mostraron errores ya muy grandes que no les permiten ser utilizadas aún como un simple estimativo.

Temperatura diurna y nocturna. En las Figuras 11 y 12 se presenta la comparación entre la

temperatura diurna patrón y la estimada con otras horas, y en la Tabla 7 las diferencias absolutas promedio y las RECM correspondientes.

Se aprecia que las 11:00 horas son las que producen los mejores resultados con unas diferencias en relación con la temperatura patrón (promedio horario de 06:00 a 18:00 horas) de aproximadamente 1,0°C con una RECM que fluctúa entre 0,75 y 0,92 y valores extremos promedios de 0,55 y 1,09. Se considera que esta hora, proporciona un valor de temperatura relativamente próximo al real.

En las Figuras 13 y 14 se ilustra la temperatura nocturna de referencia y la proveniente de horas seleccionadas y en la Tabla 8 las desviaciones absolutas promedias y sus RECM.

La hora más representativa es la de las 24:00, puesto que proporciona unos estimativos muy cerca de los valores de referencia. En efecto,

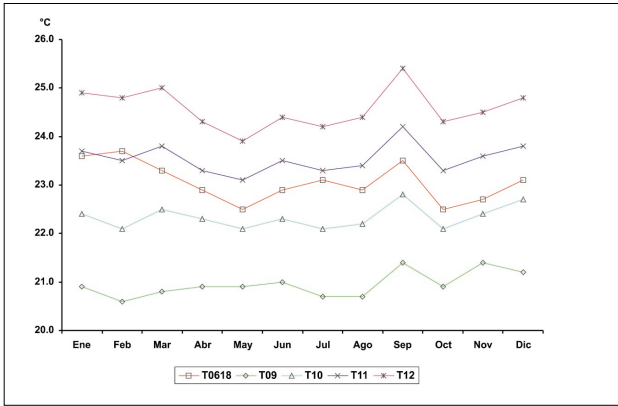


Figura 11. Comparación entre la temperatura media diaria y la de horas individuales. Estación Cenicafé.

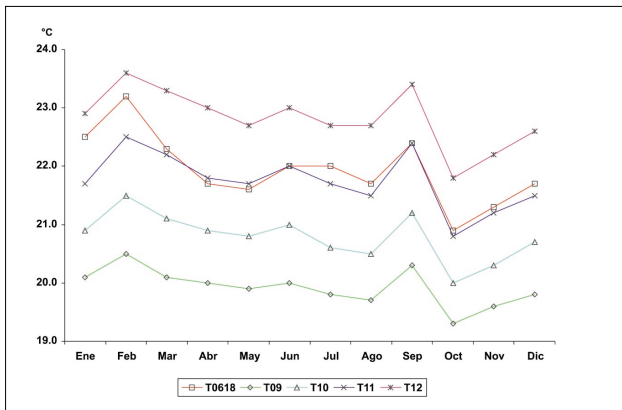


Figura 12. Comparación entre la temperatura media diaria y la de horas individuales. Estación El Rosario.

Tabla 7. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media diaria diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (2) durante el período 1994 - 1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA												RECM**
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
9	1	2,76	3,10	2,53	2,03	1,83	2,00	2,44	2,28	2,21	1,68	1,61	1,99	2,34
	2	2,36	2,73	2,17	1,76	1,78	2,03	2,16	1,99	2,07	1,62	1,74	1,98	2,14
10	1	1,32	1,66	1,14	1,06	0,94	0,96	1,16	1,01	1,10	1,04	1,02	0,97	1,18
	2	1,57	1,68	1,22	1,08	1,06	1,08	1,51	1,30	1,24	1,04	1,04	1,14	1,32
11	1	0,65	0,63	0,79	0,83	1,04	0,87	0,61	0,89	0,95	1,09	1,07	1,01	0,92
	2	0,87	0,85	0,76	0,75	0,74	0,74	0,66	0,58	0,56	0,73	0,55	0,77	0,75
12	1	1,39	1,13	1,71	1,55	1,58	1,55	1,29	1,55	1,84	1,90	1,85	1,71	1,67
	2	0,56	0,50	1,09	1,42	1,16	1,16	0,80	1,07	1,02	1,08	1,00	0,91	1,05

* Promedio de 12 horas (06:00 a 18:00 horas). ** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

Figura 13.
Comparación entre la temperatura media nocturna y la de horas individuales. Estación Cenicafé.

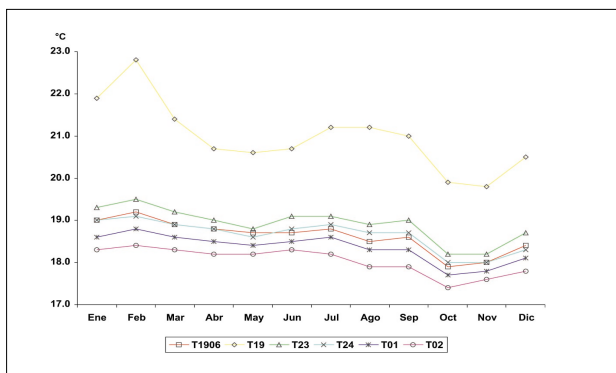


Figura 14.
Comparación entre la temperatura media nocturna y la de horas individuales. Estación El Rosario.

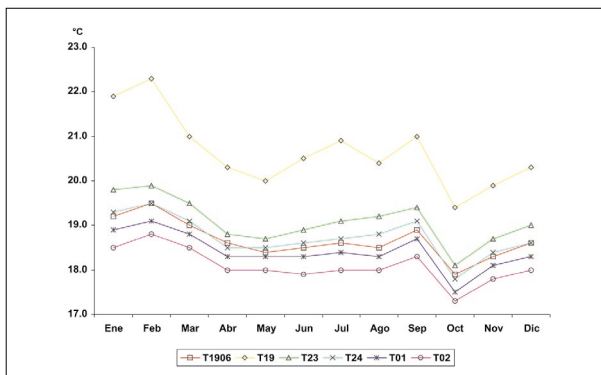


Tabla 8. Diferencias absolutas medias y la RECM entre la temperatura media nocturna diaria de referencia* (°C) y la calculada con otros horarios seleccionados en las estaciones Cenicafé (1) y El Rosario (2) durante el período 1994 - 1995.

Horario	Estación	MES/DIFERENCIA											RECM**	
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	Sep.	Oct.	Nov.		Dic.
19	1	2,81	3,37	2,48	1,93	1,90	1,93	2,36	2,53	2,36	1,96	1,73	2,18	2,44
	2	2,55	2,73	1,98	1,76	1,56	2,11	2,29	1,78	2,07	1,59	1,54	1,75	2,10
23	1	0,44	0,37	0,40	0,37	0,32	0,40	0,40	0,40	0,46	0,38	0,28	0,39	0,40
	2	0,52	0,40	0,49	0,44	0,39	0,54	0,58	0,60	0,53	0,38	0,41	0,46	0,50
24	1	0,35	0,34	0,35	0,28	0,26	0,27	0,29	0,30	0,34	0,32	0,30	0,32	0,32
	2	0,20	0,23	0,26	0,26	0,24	0,33	0,29	0,32	0,32	0,26	0,21	0,21	0,27
1	1	0,48	0,52	0,46	0,34	0,34	0,33	0,38	0,38	0,41	0,36	0,33	0,41	0,42
	2	3,74	3,84	3,40	3,35	2,70	3,39	2,38	2,98	2,54	3,17	2,30	2,51	3,20
2	1	0,64	0,84	0,65	0,58	0,49	0,48	0,63	0,68	0,70	0,58	0,41	0,58	0,64
	2	0,80	0,73	0,57	0,58	0,48	0,63	0,68	0,58	0,62	0,54	0,53	0,58	0,64

* Promedio de 12 horas (18:00 a 06:00 horas). ** Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio

Tabla 9. Hora de ocurrencia de la temperatura mínima y máxima absolutas en Cenicafé y El Rosario (1994 - 1995).

Año	Mes	Cenicafé				El Rosario			
		Mínima		Máxima		Mínima		Máxima	
		Est. Aut.	Est. Conv.	Est. Aut.	Est. Conv.	Est. Aut.	Est. Conv.	Est. Aut.	Est. Conv.
1994	1	07:00	06:00	15:00	16:00	07:00	07:00	17:00	16:00
1995	1	07:00	06:00	15:00	16:00	07:00	07:00	16:00	15:00
1994	2	07:00	07:00	16:00	16:00	06:00	06:00	17:00	16:00
1995	2	06:00	06:00	16:00	16:00	06:00	06:00	16:00	16:00
1994	3	03:00	07:00	16:00	16:00	07:00	07:00	16:00	16:00
1995	3	06:00	06:00	16:00	16:00	06:00	06:00	13:00	14:00
1994	4	06:00	06:00	15:00	16:00	04:00	06:00	17:00	16:00
1995	4	06:00	06:00	14:00	16:00	04:00	04:00	14:00	16:00
1994	5	05:00	05:00	15:00	16:00	05:00	05:00	17:00	16:00
1995	5	06:00	05:00	16:00	16:00	18:00	19:00	15:00	15:00
1994	6	06:00	06:00	16:00	16:00	05:00	05:00	17:00	16:00
1995	6	06:00	06:00	17:00	16:00	05:00	06:00	15:00	15:00
1994	7	06:00	06:00	16:00	16:00	05:00	03:00	15:00	14:00
1995	7	05:00	06:00	16:00	16:00	06:00	06:00	14:00	14:00
1994	8	05:00	05:00	16:00	16:00	01:00	06:00	16:00	16:00
1995	8	06:00	05:00	16:00	16:00	02:00	20:00	16:00	16:00
1994	9	05:00	05:00	15:00	16:00	06:00	06:00	16:00	15:00
1995	9	06:00	06:00	16:00	16:00	06:00	19:00	16:00	16:00
1994	10	05:00	06:00	15:00	16:00	06:00	04:00	16:00	15:00
1995	10	06:00	06:00	15:00	16:00	04:00	05:00	16:00	15:00
1994	11	06:00	05:00	16:00	16:00	07:00	06:00	14:00	15:00
1995	11	06:00	05:00	15:00	16:00	04:00	04:00	16:00	16:00
1994	12	06:00	06:00	16:00	16:00	07:00	06:00	16:00	15:00
1995	12	07:00	06:00	16:00	16:00	06:00	05:00	16:00	15:00

Est. Aut. = Estación Automática

Est. Conv. = Estación Convencional

el error está alrededor de 0,3°C con RECM que fluctúan entre 0,27 y 0,32 y valores extremos de 0,20 y 0,35.

Temperaturas extremas. En esta parte se examinó la hora de ocurrencia de las temperaturas mínima y máxima absolutas. En la Tabla 9 se resumen los resultados hallados.

La temperatura mínima en las dos localidades muestra la tendencia a ocurrir entre las 05:00 y 06:00 horas en tanto que la máxima absoluta aparece generalmente de las 15:00 a las 16:00 horas. Estas horas no mostraron

diferencia significativa cuando se compararon con aquellas de la estación convencional.

Los valores de la primera en este período fluctuaron entre 13,7 y 16,4°C e indican la ausencia de épocas de heladas (temperatura igual o menor a 0°C) como consecuencia de su situación en la media ladera de la Cordillera Central y su cercanía al Ecuador geográfico.

Diferencias entre las temperaturas medias diarias diurnas y nocturnas. En la Tabla 10 se presentan las diferencias medidas entre la temperatura media diaria y las temperaturas

Tabla 10. Diferencias entre las temperaturas media diaria (24:00 a 24:00 horas) media diurna (06:00 a 18:00 horas) y media nocturna (18:00 a 06:00 horas) en Cenicafé y El Rosario 1994 - 1995.

Meses	Cenicafé			El Rosario		
	Tm-Td	Tm-Tn	Td-Tn	Tm-Td	Tm-Tn	Td-Tn
Enero	-2,3	2,3	4,6	-1,6	1,6	3,2
Febrero	-2,3	2,2	4,6	-1,8	1,8	3,7
Marzo	-2,2	2,2	4,4	-1,6	1,6	3,4
Abril	-2,0	2,0	4,1	-1,6	1,6	3,1
Mayo	-1,9	1,9	3,8	-1,6	1,6	3,2
Junio	-2,1	2,1	4,2	-1,8	1,8	3,5
Julio	-2,2	2,2	4,3	-1,7	1,6	3,4
Agosto	-2,2	2,2	4,4	-1,6	1,5	3,2
Septiembre	-2,5	2,5	4,9	-1,8	1,8	3,5
Octubre	-2,3	2,3	4,6	-1,5	1,4	3,0
Noviembre	-2,4	2,4	4,7	-1,5	1,4	3,0
Diciembre	-2,4	2,4	4,8	-1,6	1,6	3,2
Anual	-2,2	2,2	4,4	-1,6	1,6	3,2

Tm: Temperatura media diaria (°C)

Td: Temperatura diurna (°C)

Tn: Temperatura nocturna (°C)

diurna y nocturna medias diarias en Cenicafé y El Rosario.

Se aprecia que la temperatura en Cenicafé durante el día (06:00 - 18:00 horas) es en promedio 2,2°C más alta que la media diaria (24:00 - 24:00 horas) con variaciones a través del año de 0,4 a 0,7°C. En la subestación El Rosario la diferencia es algo menor y está alrededor de 1,6°C. Lo anterior puede estar explicado por la distinta altitud de los dos sitios. En otros trabajos se ha encontrado que el rango de las temperaturas (temperatura máxima - temperatura mínima) se reduce a medida que se asciende en la montaña (11).

Estas diferencias son menores a las citadas por Camargo y Pereira (2) de 3,0-4,0°C. Ello indica que es conveniente hacer un muestreo con estaciones localizadas en diferentes regiones y altitudes de la zona cafetera colombiana para definir en una forma más completa esta variación

Por su parte, la temperatura nocturna (18:00 - 06:00 horas) es más fría que la media diaria en cifras similares a las diurnas en ambos lugares. A su turno, la diferencia promedio entre la temperatura del día y la noche alcanzó valores de 3,2 a 4,4°C.

Integrando todos los resultados anteriores se puede resumir lo siguiente:

- La fórmula que utilizó FNC hasta el año 1970 $(07:00+14:00+20:00+20:00)/4$ para el cálculo de la temperatura media diaria fue la más precisa en comparación con la temperatura patrón (promedio de 24 horas) con diferencias alrededor de 0,3°.

- El horario actualmente en uso, por razones prácticas, tanto en FNC como en otras redes meteorológicas del país no mostró mayor diferencia $(07:00+13:00+19:00+19:00)/4$ con el antes mencionado (aproximadamente 0,1°C), lo cual indica que las series anteriores a 1970 no

necesitarían ser corregidas o evaluadas nuevamente. Sin embargo, es recomendable verificar si este resultado se mantiene en otras áreas con diferentes condiciones climáticas a las aquí estudiadas.

- La combinación de las temperaturas extremas ($T_{\text{mínima}}+T_{\text{máxima}}/2$) para la estimación de la temperatura media diaria no registró un comportamiento adecuado y los errores con respecto a la temperatura de referencia estuvieron cercanos a $1,0^{\circ}\text{C}$. No es recomendable su empleo para este tipo de cálculo.

- La temperatura media diurna se puede estimar con buena precisión empleando el horario de $(08:00+13:00+17:00)/3$. Las diferencias con la temperatura patrón (media de 12 horas) son de aproximadamente $0,3^{\circ}\text{C}$.

-La temperatura media nocturna se calcula con alta precisión a través de la combinación $(20:00+01:00+05:00)/3$. Las desviaciones en comparación con la temperatura de referencia (promedio de 18:00 a 06:00 horas) llega alrededor de $0,2^{\circ}\text{C}$.

-Las dos ecuaciones utilizadas para la estimación de la temperatura diurna y nocturna medias (Petricevic y Rojas) no tuvieron buen desempeño ya que registraron errores promedio por encima de $0,5^{\circ}\text{C}$ con respecto a las temperaturas de referencia.

-El cálculo de la temperatura media diaria basado solamente en una hora mostró que las 09:00 horas son las más representativas para suministrar un valor aproximado al real. La diferencia media alcanza cerca de $1,0^{\circ}\text{C}$.

-En el caso de la temperatura media diurna se encontró que las 11:00 horas dan una aproximación a los valores verdaderos. La diferencia media se sitúa alrededor de $1,0^{\circ}\text{C}$.

-Teniendo en cuenta que durante la noche las condiciones son más estables, las 24:00 horas proporcionan un buen estimativo de la temperatura media nocturna con respecto a los valores de referencia. Los errores promedios llegan a $0,3^{\circ}\text{C}$.

-La temperatura mínima absoluta se presenta con mayor frecuencia entre las 05:00 y 06:00 horas, mientras que la máxima absoluta de 15:00 a 16:00 horas. Éstas fueron consistentes con las registradas en la estación meteorológica convencional.

-La temperatura media diurna es aproximadamente 2°C superior a la media del día y esta última es mayor a la temperatura nocturna en un valor similar.

LITERATURA CITADA

1. AYOADE, J.O. Introduction to climatology for the tropics. New York, John Wiley and Sons, 1983. 258 p.
2. CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Geneva, World Meteorological Organization, 1994. 43 p.
3. CONRAD, V.; POLLAK, L.W. Methods in climatology. Cambridge, Harvard University Press, 1962. 459 p.
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTA. COLOMBIA; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Archivos meteorológicos de la Disciplina de Agroclimatología 1951 a 1997. Chinchiná, Cenicafé, 1997.
5. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTA. COLOMBIA; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico. Chinchiná, Cenicafé, 1990. 354 p.

6. ESLAVA R., J. A. Variación temporal de la temperatura del aire en Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 28 (68): 65 – 74. 1991.
7. JIMÉNEZ, F. D.; SABOGAL T., N.A. Comportamiento entre los promedios de temperatura. *Atmósfera* 1: 8-20. 1984.
8. KEISER, D.T.; GRIFFITHS, J.F. Problems associated with homogeneity testing in climate variation studies: a case study of temperature in the northern great plains, USA. *International Journal of Climatology* 17: 497-510.1977.
9. LAMBRECHT. Datalogger Adlas operating manual. Gottingen, Lambrecht, 1991. 7 chapters. s.p.
10. LAMBRECHT. Sensor 809 LO-100 for humidity and temperature. Operating instructions. Gottingen, Lambrecht, 1991. 3 p.
11. OLDEMAN, C.R.; FRÈRE, M. A. Study of the agroclimatology of the humid tropics of south-east Asia. Ginebra, World Meteorological Organization, 1982. 229 p.
12. PEARMAN, G.I. Greenhouse gases. Evidence for atmospheric changes and anthropogenic causes. *In: PEARMAN, G.I. Ed. Greenhouse. Planning for climate change.* Melbourne, CSIRO, 1988. p. 3-21.
13. PETERSON, T.C.; EASTERLING, D.R. Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology* 14: 671-679. 1994.
14. RHOADES, D.A.; SALINGER, M.J. Adjustment of temperature and rainfall records for site changes. *International Journal of Climatology* 13: 899-913. 1993.
15. ROJAS, E. R. Estudio agroclimático de Costa Rica. San José, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1985. 177 p.
16. SOLAREX CORPORATION. ROCKVILLE. ESTADOS UNIDOS. Photovoltaic modules under 38 Watts. Rockville, Customer Service Department, 1988. 2 p.
17. TROJER, H. El ambiente climatológico y el cultivo del café en Colombia. *Boletín Informativo* 5 (57): 22-37. 1954.
18. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM - UNEP. GINEBRA. SUIZA. Causes of climate change. Fact sheet 8. Ginebra, UNEP, 1993. 2 p.
19. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. GINEBRA. SUIZA. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Ginebra, WMO, 1983. p.v.