*Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2014, Vol.15, No.1, pp.23--35, ISSN 1729-3790*

# Pronóstico climático mensual de la temperatura en Ciego de Ávila. Cuba

Rogert Sorí-Gómez* [(1)], Alexis Augusto Hernández-Mansilla [(1)], Aliana López-Mayea [(1)], Oscar Benedico-Rodríguez [(1)], Orlando Lázaro Córdova-García [(1)] y Maita Ávila-Espinosa [(2)]

[(1)] *Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Cuba. E-mail rogert.sori@cav.insmet.cu; alexis.hernandez@cav.insmet.cu;aliana.lopez@cav.insmet.cu;oscar.benedico@cav.insmet.cu; orlando.cordova@cav.insmet.cu*

[(2)] *Universidad "Máximo Gómez Báez" (UNICA). Ciego de Ávila. Cuba. maita@agronomia.unica.cu*

| Recibido: febrero 4, 2013 | Aceptado: diciembre 12, 2013 |
|---|---|

**Resumen**

Se obtuvieron ecuaciones pronóstico de la temperatura media, máxima y mínima mensual para cada estación meteorológica de Ciego de Ávila; para ello se empleó un modelo general de regresión a partir de la búsqueda secuencial por etapas hacia adelante. Se escogieron 23 variables predictoras potenciales del período 1982 - 2004 para la regresión y el periodo 2005 - 2010 para evaluar el método. El promedio histórico mensual de temperatura, el promedio de dos meses anteriores de temperatura y del gradiente meridional del viento en 850 hPa fueron las variables más presentes en las ecuaciones de predicción. Se logró representar adecuadamente la estacionalidad de la temperatura, y pronosticar con altos valores de varianza explicada por el coeficiente $R^2$ superiores a 0.80 en todos los casos, con la mayor ocurrencia de errores absolutos medios (EAM) entre +/- 0.5°C, corroborando la efectividad del método.

**Palabras clave:** Pronóstico, regresión, temperatura

# Monthly climate forecast of the temperature in Ciego de Ávila. Cuba

**Abstract**

Weather forecast equations of maximum, mean and minimum monthly temperatures for each weather station on Ciego de Ávila province were obtained. To that end, a comprehensive regression model was utilized from the sequential stage search onward. Twenty three potential predictive variables were chosen for the 1982 – 2004 regression period and the latter 2005 – 2010 period was left to evaluate the method. The average historic monthly temperature, the average temperatures of two previous months as well as the meridional wind gradient at 850 hPa were the most common variables in the prediction equations. The seasonal temperature was adequately represented so as to forecast with high values of variance by the $R^2$ coefficient over 0.80 in all cases; with the most absolute mean errors (AME) made between +/- 0.5°C, so corroborating the effectiveness of the method.

**Key words:** Forecast, regression, temperature

## 1. Introducción

La ubicación geográfica de Cuba en latitudes tropicales del Hemisferio Norte, rodeada de las cálidas aguas del mar Caribe, implica que la predicción climática de la temperatura tenga en cuenta la marcada persistencia de los patrones atmosféricos y los débiles gradientes horizontales de la temperatura, típicos de los trópicos; sin embargo, las variaciones en los regímenes de temperatura están presentes en nuestro país. Lecha et al. (1994) describen el marcado ciclo estacional de la radiación y la circulación atmosférica sobre nuestro país, y con ello, las variaciones mensuales de la temperatura, cuya variabilidad está asociada en gran medida a las condiciones locales del relieve y la distancia a la costa.

El pronóstico climático de temperaturas a corto plazo resulta de vital importancia para las actividades económicas, sociales y medio ambientales. Los pronósticos de esta variable en la actualidad se realizan mediante modelos climáticos, algunos dinámicos, estadísticos y sus combinaciones. En Cuba se brindan hasta el momento, las predicciones mensuales de temperatura mediante la implementación de regresiones; específicamente se utiliza el software Climate Predictability Tool (CPT) desarrollado por el International Research Institute for



*Rogert Sorí-Gómez [(*)] Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Cuba, E-mail rogert.sori@cav.insmet.cu*

Climate and Society (IRI); (Ramón Pérez Suárez, Instituto de Meteorología, comunicación personal). Este software es capaz de implementar diferentes técnicas estadísticas, entre ellas la regresión por Componentes Principales, muy utilizada a nivel internacional por la habilidad del método de reducir en Funciones Ortogonales Empíricas la mayor varianza en la muestra independiente. Estos pronósticos nacionales se informan por el Centro Nacional del Clima del Instituto de Meteorología para tres regiones de Cuba, Occidente, Centro y Oriente.

Las regresiones y las técnicas de reducción de escala son muy utilizadas por los meteorólogos; autores como Gu y Jiang (2005), aplicaron un modelo complejo autoregresivo para el pronóstico de la anomalía de temperatura mensual y Gutiérrez et al. (2004) plantean la ventaja del uso de la regresión teniendo en cuenta la correlación canónica aunque detallan que la habilidad del método depende de la capacidad de los predictores para explicar de forma lineal los predictandos. Estos métodos posibilitan realizar pronósticos más locales; pues en algunos casos se utilizan salidas de modelos climáticos que en el caso de Cuba, no ofrecen una detallada información pues tienen baja resolución y homogenizan el territorio cubano, entre ellos se pueden mencionar el ECHAM4p5, GFDL y CCM3v6.

En el contexto de la interacción entre el océano y la atmósfera, se considera al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) como la fuente de variabilidad interanual climática dominante del Trópico, Alvarado y Fernández (2001); El Niño y La Niña son fases opuestas del ENOS, El Niño describe los eventos en los que el Pacífico ecuatorial está más cálido que el promedio y La Niña describe las ocasiones en que el Pacífico está más frío que el promedio. De otra parte la NAO constituye el modo de variabilidad más estudiado en el área del Atlántico norte Hurrell et al. (2003). De ambos fenómenos han sido descritos en la literatura sus influencias sobre distintas regiones del planeta; de ahí que se incluyeran índices referentes a estos fenómenos en el proceso de selección de las variables independientes.

Según Hernández et al. (2009), la temperatura máxima, media y mínima en las zonas norte y centro – sur de Ciego de Ávila tienen similar fluctuación en el tiempo pero con diferencias que señalan un ambiente más cálido en el centro – sur de la provincia. Las diferencias del comportamiento térmico que informan justifican la necesidad e importancia de pronosticar para cada estación los valores de temperatura y así lograr una mayor exactitud de acuerdo a la heterogeneidad en el comportamiento de la temperatura en la provincia. Elaborar un método estadístico para el pronóstico de la temperatura media (Tm), máxima media (Tx) y mínima media (Tn) mensual en Ciego de Ávila constituye entonces el objetivo de este trabajo, teniendo en cuenta las anteriores consideraciones. Para ello se aprovechó la disponibilidad de datos y la ubicación latitudinal de las estaciones meteorológicas en Ciego de Ávila, posibilitando la realización de un pronóstico que geográficamente responde de manera general a la Cayería norte, la zona norte, centro – sur y la costa sur de la provincia.

## 2. Materiales y Métodos

El periodo utilizado para el análisis fue el comprendido entre enero de 1982 y marzo del 2010, del cual, la muestra 2005 - 2010 se implementó en la evaluación de las ecuaciones. Se determinó realizar el pronóstico para cuatro puntos de la provincia coincidentes con las estaciones meteorológicas después del análisis del comportamiento térmico medio en cada zona.

En la construcción de las variables predictoras se utilizaron valores mensuales de temperatura en el nivel de superficie registrados en las estaciones meteorológicas de la provincia; además de datos de circulación y temperatura en los niveles troposféricos seleccionados: 1000, 925 y 850 hPa, obtenidos de los reanálisis del proyecto NCEP/NCAR en la dirección electrónica http://nomad1.ncep.noaa.gov/ncep_data/. Se tuvo en cuenta también valores de temperatura superficial del mar (TSM) al norte y sur de Ciego de Ávila y en las regiones Niño, además de los índices: Indice de Oscilación del Sur (SOI) y Oscilación del Atlántico Norte (NAO), obtenidos en http://nomad1.ncep.noaa.gov/ncep_data/ y http://www.cpc.ncep.noaa.gov/. En el caso de la estación meteorológica de Cayo Coco (78 339) que comenzó a operar más recientemente los datos utilizados se corresponden al intervalo 1989 – marzo de 2010.

Después de seleccionar los datos a utilizar (Lista de Variables), se comprobó la calidad de los mismos al verificar la existencia de estacionalidad, valores lógicos y datos faltantes. En la tabla I se observa la latitud, longitud, altura sobre el nivel medio del mar (nmm) y código internacional de la Organización Meteorológica Mundial de las cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en Ciego de Ávila, según datos del Grupo de Atención a la Red de Estaciones (GARE), del Instituto de Meteorología.

Para la predicción de las temperaturas medias, máximas y mínimas medias mensuales se utilizó un método general de regresión mediante un polinomio que involucra la dependencia cuadrática de la variable. La regresión se realizó a partir de una búsqueda secuencial por etapas hacia adelante (forward stepwise), que se caracteriza por examinar la contribución de cada predictor al modelo de regresión; y por tanto considerar su inclusión, proceso que ocurre de acuerdo a la mayor contribución incremental de cada variable Hair et al. (1999), así el orden de cada variable independiente en la ecuación está determinada por su aporte. Se ajustó el nivel de significación del 95% y una F de Fisher del 2%.

El análisis de regresión múltiple es una técnica estadística que puede utilizarse para analizar la relación entre una única variable criterio (criterio), y varias variables independientes (predictores); el objetivo, es utilizar las variables independientes cuyos valores son conocidos, para predecir la única variable criterio seleccionada por el investigador Hair et al. (1999). Con el fin de lograr el pronóstico del comportamiento de la temperatura con un mes de anticipación y conociendo las particularidades e importancia de la persistencia del tiempo en la zona tropical, además de la disponibilidad real de los datos necesarios, se decidió calcular los promedios mensuales de cada variable en los dos meses anteriores al mes en que se realiza la predicción del próximo mes y las normas históricas mensuales, referenciadas por Gu y Jiang (2005), como la primer variable independiente en sus ecuaciones. Las variables son representativas del área provincial, otros índices de teleconexión (NAO y SOI) y temperaturas superficiales del mar en las regiones Niño fueron agregados con el fin de establecer posibles influencias.

**Lista de Variables predictoras**

1. Temperatura media, máxima y mínima promedio (Tm prom2), (Tx prom2), (Tn prom2).
2. Temperatura media, máxima y mínima promedio histórico de cada mes durante 1980 – 2004, (Tm promh), (Tx promh), (Tn promh).
3. Promedios de Temperatura media para el área 21.5 – 23° Latitud Norte; 77.8 - 79.5° Longitud Oeste en 925 y 1000hPa, ($T^{925}$), ($T^{1000}$).
4. Promedio de temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2, 3, 3.4 y 4 (TSM Niño 1+2), (TSM Niño 3), (TSM Niño 3.4), (TSM Niño 4).
5. Promedios de Temperatura superficial del mar para el área sur (TSM Sur) de la provincia, 20.0 – 21.7° Latitud Norte y 78.6 - 80° Longitud Oeste y norte (TSM Norte) 22.7 – 23° Latitud Norte y 78.0 – 79.5° Longitud Oeste.
6. Promedios del Gradiente zonal del viento 1000, 925 y 850 hPa (Ugrad 1000), (Ugrad 925), (Ugrad 850) en el área 21.5 - 23° Latitud Norte y 77.8 – 79.5° Longitud Oeste.
7. Promedios del Gradiente meridional del viento en 1000, 925 y 850 hPa (Vgrad 1000), (Vgrad 925), (Vgrad 850) en el área 21.5 - 23° Latitud Norte y 77.8 – 79.5° Longitud Oeste.
8. Promedios del Indice de Oscilación del Sur (SOI).
9. Promedios del Indice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

**Tabla I. Referencias de las estaciones meteorológicas de la provincia Ciego de Ávila**

| Estación Meteorológica | Indicador | Latitud Norte (°) | Longitud Oeste (°) | Altura (m) |
|---|---|---|---|---|
| Júcaro | (78 345) | 21.62 | 78.85 | 1 |
| Venezuela | (78 346) | 21.78 | 78.78 | 26.4 |
| Camilo Cienfuegos | (78 347) | 22.15 | 78.75 | 15.8 |
| Cayo Coco | (78 339) | 22.53 | 78.37 | 10 |

Se calcularon los coeficientes de determinación ($R^2$), como indicador fundamental de la varianza explicada por cada ecuación con respecto al comportamiento real. En el análisis de los resultados se tuvo en cuenta que aunque se implementó una ecuación anual, los errores e indicadores se calcularon para los periodos lluvioso (mayo – octubre) y poco lluvioso (noviembre – abril), con el propósito de diferenciar las estimaciones que podrían ser enmascaradas si se analizaran los pronósticos de todo el año. De esta forma, se calcularon los errores absolutos medios de la regresión (EAM-R) y la validación (EAM-V), además del coeficiente de correlación de rangos de Spearman (Sp); este último establece la interdependencia entre cada pareja de datos en el periodo utilizado para la confección de las ecuaciones.

La diferencia entre los valores de $R^2$ obtenido en la validación y la regresión se interpreta como la reducción de la varianza explicada (RVE), la cual se calculó en periodos lluvioso y poco lluvioso y de esta forma fue posible determinar la habilidad de la ecuación de pronóstico entre la regresión y la validación. Valores positivos

de esta diferencia indican que en el proceso de evaluación el $R^2$ fue mayor respecto al obtenido durante la regresión, mientras que valores negativos indican una disminución de la varianza explicada durante la evaluación con respecto al valor del $R^2$ obtenido previamente en la regresión.

### 3. Resultados y discusión

Las variaciones del comportamiento de la temperatura en Ciego de Ávila son indicadores fundamentales para establecer una metodología de pronóstico en el territorio. El ciclo medio anual de la amplitud de la temperatura media mensual en las estaciones de la provincia en el periodo 1989 – 2010, Fig. 1(a), indica una conducta muy similar en las estaciones de Júcaro, Venezuela y Camilo Cienfuegos, con valores entre 9 y 13°C, y los mayores ocurren en los meses de enero a abril, en correspondencia con la ocurrencia de descensos de la temperatura mínima que se producen en este periodo del año. En Cayo Coco, la curva oscila entre valores mucho menores, 4 y 7°C, asociado a una menor distancia entre los datos de temperaturas máximas y mínimas durante todo el año; la inercia térmica de las aguas que rodean al Cayo inducen este comportamiento, responsable además de la menor oscilación que ocurre durante los meses menos cálidos, noviembre, diciembre y enero, Figura 1 (a) y (b). El ciclo medio anual de la temperatura media en las estaciones estudiadas entre 1989 – 2010 Fig**.** 1 (b) refleja la coincidencia temporal en el ciclo medio anual entre las cuatro estaciones de la provincia; destacándose solamente la diferencia numérica entre las curvas y el particular comportamiento de la temperatura en la estación meteorológica 78 339 ubicada en Cayo Coco, donde valores más elevados de temperatura media ocurren durante todo el año, lo que no significa que sea la zona más cálida de la provincia, a juzgar por la amplitud térmica, Fig. 1 (a), sino que las temperaturas máximas y mínimas no alcanzan los valores extremos que se registran en el resto de las estaciones analizadas.

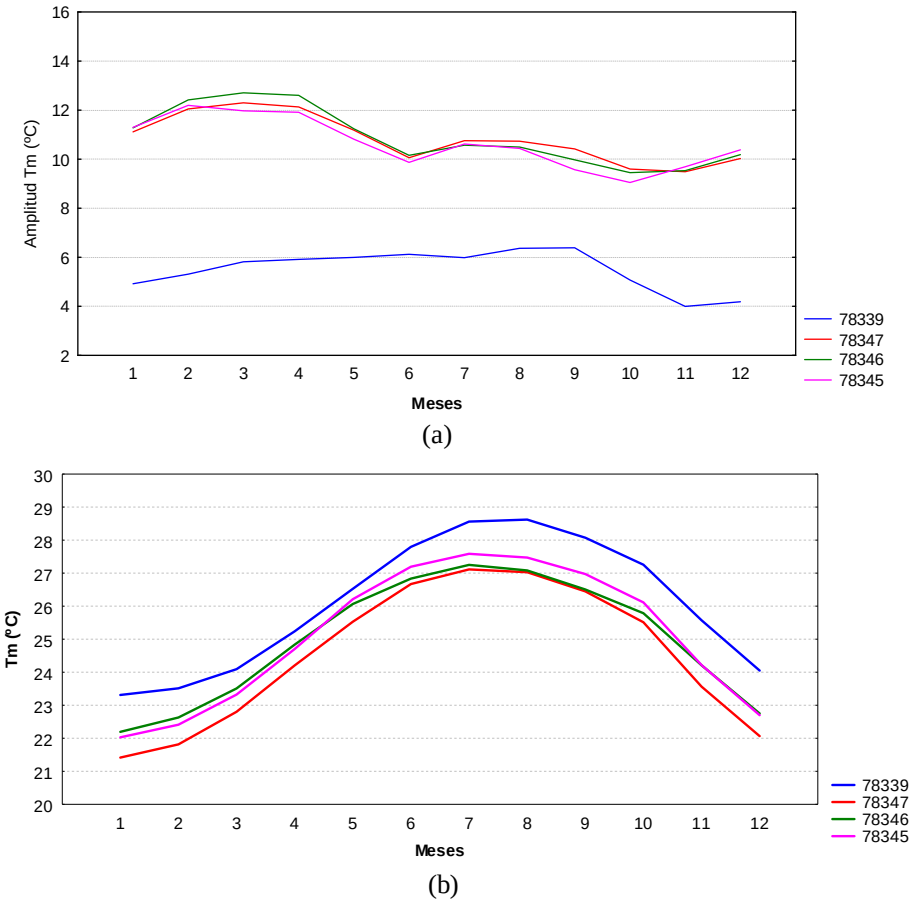



**Fig. 1. Ciclo anual de la Amplitud de la Temperatura media en el periodo (a) y marcha media anual de Temperatura media (b) en las estaciones 78345, 78346, 78347 y 78339. Periodo 1989 – 2010.**

### 3.1 Pronóstico de Temperatura media

El pronóstico de Tm para cada estación resultó muy efectivo; en la Tabla II se muestran los indicadores del coeficiente de determinación $R^2$ y rangos de Spearman, Sp, obtenidos en el proceso de regresión de las

ecuaciones anuales. Se obtuvo para todos los casos $R^2$ superiores a 0.89 lo que resulta altamente significativo pues las ecuaciones explican en alto grado la varianza de la muestra dependiente. El valor menos elevado de Sp se alcanzó en la regresión de Cayo Coco, con un valor de 0.79 y el más elevado en la ecuación de Júcaro, denotando el mayor grado de asociación entre la Tm observada y estimada durante el periodo regresivo.

En la Tabla III se muestran el EAM-R que oscila entre 0.50 y 0.57 y el EAM-V entre 0.54 y 0.66, además del índice RVE obtenidos de los análisis en el periodo poco lluvioso. En la etapa de validación, los errores absolutos son ligeramente superiores a los obtenidos en la regresión y los valores de RVE son todos negativos cercanos a cero, lo que indica que el $R^2$ en el periodo de evaluación fue ligeramente inferior al obtenido con anterioridad durante la regresión, y por tanto, se logró una menor eficiencia aunque prácticamente despreciable si se tiene en cuenta los magnitud de cada valor de RVE. Por lo general, durante el periodo poco lluvioso los Sistemas Frontales que penetran en nuestro país y avanzan hacia el este pierden poder de penetración y se estacionan, comenzando un proceso de disipación gradual, que ocurre generalmente en la mitad centro – oriental de la Isla, Lecha et al. (1994). De esta forma, la influencia de los anticiclones continentales migratorios y las masas de aire frías y secas asociadas, hacen que los cambios de temperatura sean más notables y bruscos que en el resto del año y por ello resulta más complejo lograr mayor exactitud en los pronósticos de temperatura.

A diferencia de lo obtenido en el pronóstico de Tm anterior, durante el periodo lluvioso los EAM-V resultan menores que los EAM-R a excepción del caso de Cayo Coco (Tabla IV). En general los pronósticos durante este periodo del año son muy efectivos, razón por la cual los valores de ambos errores durante ambas etapas de regresión – validación, son inferiores a los obtenidos durante el periodo poco lluvioso. La ecuación encontrada para Júcaro demostró gran confiabilidad con el EAM-V= 0.26 más bajo y una RVE de 0.16, superior al resto de los resultados.

**Tabla II. Coeficientes $R^2$ y Sp. Ecuación anual de temperatura media.**

| Ecuación Anual Tm | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| $R^2$ | 0.91 | 0.89 | 0.91 | 0.91 |
| Sp | 0.83 | 0.82 | 0.81 | 0.79 |

**Tabla III. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tm periodo poco lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.55 | 0.54 | 0.57 | 0.50 |
| EAM-V (°C) | 0.65 | 0.59 | 0.66 | 0.54 |
| RVE | -0.05 | -0.02 | -0.05 | -0.04 |

**Tabla IV. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tm periodo lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.37 | 0.37 | 0.66 | 0.36 |
| EAM-V (°C) | 0.26 | 0.34 | 0.42 | 0.38 |
| RVE | 0.16 | 0.05 | -0.04 | 0.10 |

En las ecuaciones predictoras 1, 2, 3 y 4 las variables independientes más frecuentes resultaron ser la Tm promh, la Tm prom2 y el Vgrad 850. Las dos primeras ratifican la importancia de la climatología y la persistencia de la temperatura para el pronóstico; y el promedio del gradiente meridional del viento en 850 hPa con signo cambiado en distintas ocasiones resulta muy interesante, pues en principio introduce los posibles cambios en la circulación meridional sobre nuestra provincia.

**Ecuaciones predictoras de la Temperatura media. Júcaro (1), Venezuela (2), Camilo Cienfuegos (3), Cayo Coco (4)**

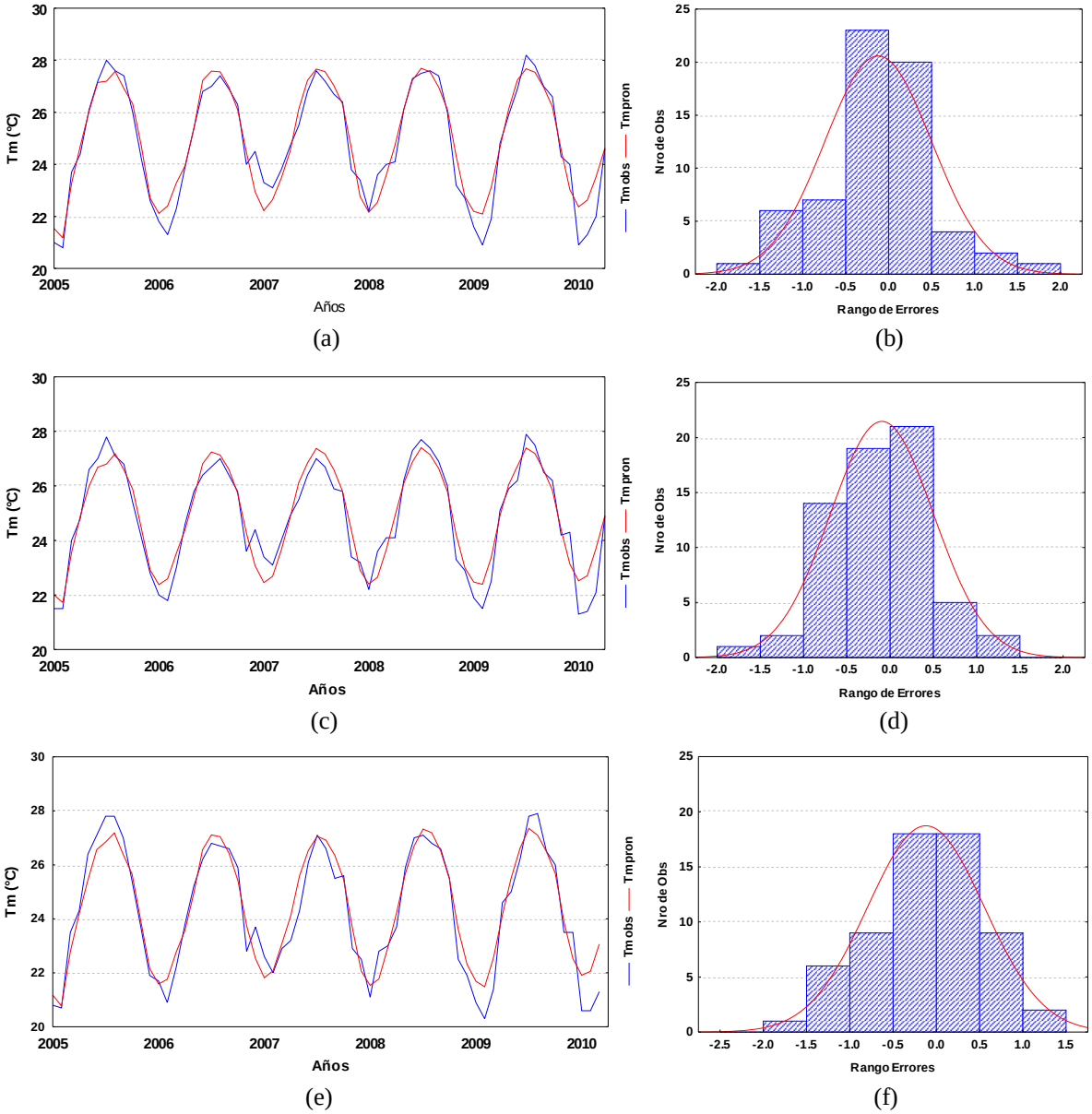
$$Tm = 1{,}319 + 0{,}918 * (Tm\ promh) + 0{,}001 * (T^{925})\text{^}2 + 0{,}522 * (Vgrad\ 850) - 0{,}144 * (Vgrad\ 850)\text{^}2 \quad (1)$$

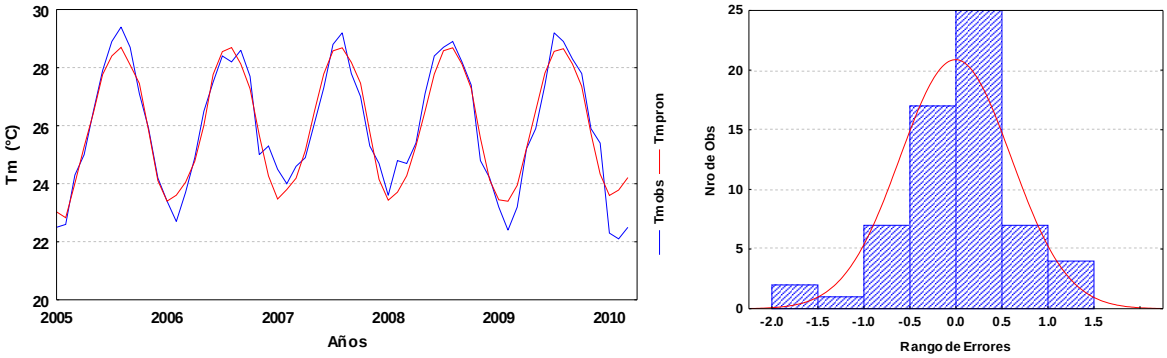
$$Tm = 12.087 + 0{,}019 * (Tm\ promh)\text{^}2 + 0{,}001 * (Tm\ prom2)\text{^}2 + 0{,}379 * (V\ grad\ 850) - 0{,}132 * (V\ grad\ 850)\text{^}2 \quad (2)$$

$$Tm = 11{,}124 + 0{,}017 * (Tm\ promh)^2 + 0{,}002 * (Tm\ prom2)^2 + 0{,}001 * (TSM\ Niño\ 1+2)^2 + 0{,}467 * (Vgrad\ 850) - 0{,}136 * (Vgrad\ 850)^2 \quad (3)$$

$$Tm = 1{,}297 + 0{,}927 * (Tm\ prom2) + 0{,}001 * (T^{925})^2 + 0{,}329 * (Vgrad\ 850) - 0{,}076 * (Vgrad\ 850)^2 \quad (4)$$

Los valores reales y pronosticados de Tm de cada estación, además de los histogramas de rango de errores en de cada predicción aparecen en la figura 2. En las figuras 2 (a), 2 (c), 2 (e) y 2 (g) se aprecia estacionalidad y alto grado de semejanza entre la línea del pronóstico y la del comportamiento real y solo para los valores más bajos se aprecia la mayor distancia entre ambas líneas, de acuerdo a los valores de los EAM-V para noviembre – abril (Tabla III); si se calculara una recta de regresión de cada estimación, esos momentos se corresponderían con casos atípicos alejados de la nube de puntos. Aún con estos señalamientos las predicciones son aceptables y alcanzan pronosticar el mayor número de casos con errores inferiores a 0.5°C considerando casos en los que se sobreestima la predicción y otros en los que el valor pronosticado es inferior al real. En los histogramas los errores siguen una curva normal, figuras 2 (b), 2 (d), 2 (f) y 2 (h). Cayo Coco, aparece con un comportamiento diferenciado al resto de las estaciones, Fig. 2 (g); la temperatura media alcanza valores superiores a los 28°C durante algunos meses del verano y no descienden de 22°C en todo el periodo.






(g) (h)

**Fig. 2. Comportamiento real y pronosticado de la temperatura media en las estaciones meteorológicas de Júcaro (a); Venezuela (c), Camilo Cienfuegos (e), Cayo Coco (g) e Histogramas de errores absolutos en la validación, Júcaro (b), Venezuela (d), Camilo Cienfuegos (f) y Cayo Coco (h). Periodo 2005 – 2010.**

### 3.2 Pronóstico de Temperatura mínima media

Los indicadores calculados de las ecuaciones anuales para el pronóstico de Tn aparecen representados en la Tabla V. En el cálculo de la ecuación de pronóstico de Tn en Cayo Coco se obtuvo el menor $R^2$=0.83, mientras en los demás resultados dicho coeficiente osciló entre 0.87 y 0.89. El grado de asociación medido por el Sp, es considerablemente alto.

Los EAM-R durante el periodo poco lluvioso (Tabla VI) no sobrepasan 1°C; con el mayor valor obtenido en la regresión Tn registrada en la estación Camilo Cienfuegos, zona caracterizada como promedio por las temperaturas más bajas de la provincia, Hernández et al. (2009); sin embrago, en Cayo Coco, se reduce el EAM-R hasta 0.63, coincidiendo con la zona de menor oscilación térmica. En la validación del método los EAM-V son superiores sin llegar aún a sobrepasar 1°C, a excepción de Cayo Coco donde disminuye hasta 0.56. El índice de RVE oscila entre valores cercanos a cero, con la menor diferencia conseguida entre coeficientes $R^2$ de la regresión – validación en el pronóstico para Júcaro. El único valor negativo se obtuvo para la predicción de Venezuela, aunque muy pequeño, -0.05.

En los resultados logrados en las estimaciones del periodo lluvioso (Tabla VII), se aprecia un mejor desempeño en la etapa de puesta a prueba 2005-2010, con una reducción de los EAM-V, además de notables incrementos del índice RVE; los mayores alcanzados en el pronóstico de Tn media en Júcaro y Cayo, ambas con marcada influencia marina.

En su mayoría, los errores en el pronóstico de esta variable son mayores que en la regresión – validación de la temperatura media. Resultados de González et al. (2013) confirman que las temperaturas mínimas para un grupo de estaciones del occidente de Cuba con los valores más bajos, ocurren bajo la presencia de un centro anticiclónico de 1020 hPa que cubre el sudeste de los Estados Unidos, la mitad este del Golfo de México y la región occidental de Cuba, además de un marcado contraste en la estructura troposférica vertical de la temperatura y la humedad relativa en el nivel de 925 hPa. Este estudio debiera extenderse a la provincia y de encontrarse resultados similares considerar la posición y valor del centro anticiclónico en superficie así como los valores de humedad relativa en 925 hPa como variables independientes en el proceso de regresión con el fin de tratar de disminuir los errores obtenidos y confirmar su posible efecto sobre las temperaturas mínimas en Ciego de Ávila.

**Tabla V. Coeficientes $R^2$ y SP. Ecuación anual de temperatura mínima media.**

| Ecuación Anual Tn | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| $R^2$ | 0.89 | 0.87 | 0.89 | 0.83 |
| Sp | 0.88 | 0.78 | 0.87 | 0.83 |

**Tabla VI. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tn periodo poco lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.77 | 0.77 | 0.80 | 0.63 |
| EAM-V (°C) | 0.79 | 0.92 | 0.81 | 0.56 |
| RVE | 0.003 | -0.05 | 0.06 | 0.05 |

**Tabla VII. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tn periodo lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.47 | 0.44 | 0.45 | 0.45 |
| EAM-V (°C) | 0.27 | 0.39 | 0.43 | 0.42 |
| RVE | 0.28 | 0.05 | 0.13 | 0.22 |

Los promedios de temperatura mínima de los meses anteriores así como los valores promedios históricos de esta variable son los más presentes en las ecuaciones 5, 6, 7 y 8, lo que introduce el carácter de las condiciones previas y la climatología histórica de la variable en el lugar como primeras en orden de importancia en las ecuaciones. De igual manera aparecen la TSM de la región Niño 1+2, el promedio del gradiente meridional del viento y la temperatura del mar al sur de la provincia, esta última solo en el caso de la ecuación de regresión en Júcaro.

**Ecuaciones predictoras de la Temperatura mínima media. Júcaro (5), Venezuela, (6) Camilo Cienfuegos (7), Cayo Coco (8).**

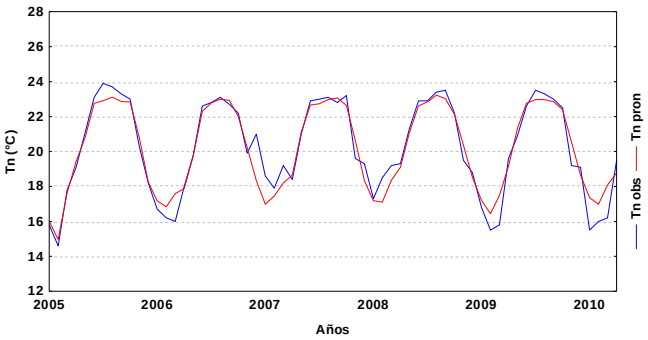
$$Tn = -0{,}666 - 0{,}366 * (Tn\ prom2) + 0{,}016 * (Tn\ prom2)^2 + 2{,}224 * (Tn\ promh) - 0{,}035 * (Tn\ promh)^2 - 0{,}321 * (TSM\ Sur) + 0{,}836 * (Vgrad\ 850) - 0{,}133 * (Vgrad\ 850)^2 \quad (5)$$

$$Tn = 0{,}883 + 0{,}904 * (Tn\ promh) + 0{,}002 * (Tn\ prom2)^2 + 0{,}671 * (V\ grad\ 850) - 0{,}169 * (V\ grad\ 850)^2 - 0{,}057 * (Vgrad\ 925)^2 \quad (6)$$

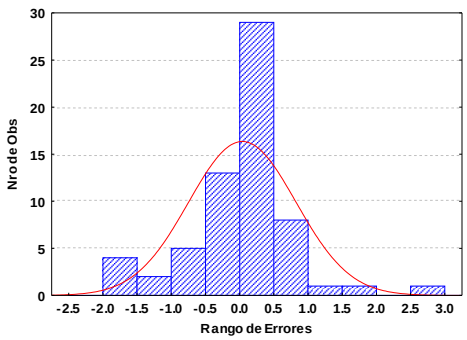
$$Tn = -0{,}984 + 0{,}883 * (Tn\ promh) + 0{,}003 * (Tn\ prom2)^2 + 0{,}002 * (TSM\ Niño\ 1+2)^2 + 0{,}710 * (Vgrad\ 850) - 0{,}165 * (Vgrad\ 850)^2 \quad (7)$$

$$Tn = -0{,}054 + 0{,}888 * (Tn\ promh) + 0{,}003 * (Tn\ prom2)^2 + 0{,}001 * (TSM\ Niño\ 1+2)^2 + 0{,}196 * (Vgrad\ 850) \quad (8)$$

En la figuras 3 (a), 3 (c), 3 (e) y 3 (g), se graficaron los pronósticos de temperatura mínima media durante el periodo utilizado para su validación y el comportamiento real de la variable. Del análisis visual se puede apreciar la destreza que tienen las ecuaciones para representar la dependencia de la variable dependiente; aún cuando las estimaciones de esta variable resultan complejas, las gráficas muestran como las curvas se asemejan en gran medida, con las mayores deficiencias en los descensos y ascensos más extremos. En todos los histogramas, Fig. 3 (b), 3 (d), 3 (f) y 3 (h), el mayor número de casos de ocurrencia de errores absolutos de la predicción con respecto a la Tn media real son cercanos a cero, y los mayores errores de sobreestimación y subestimación correspondieron a menos de 5 observaciones en cada rango.




(a)




(b)

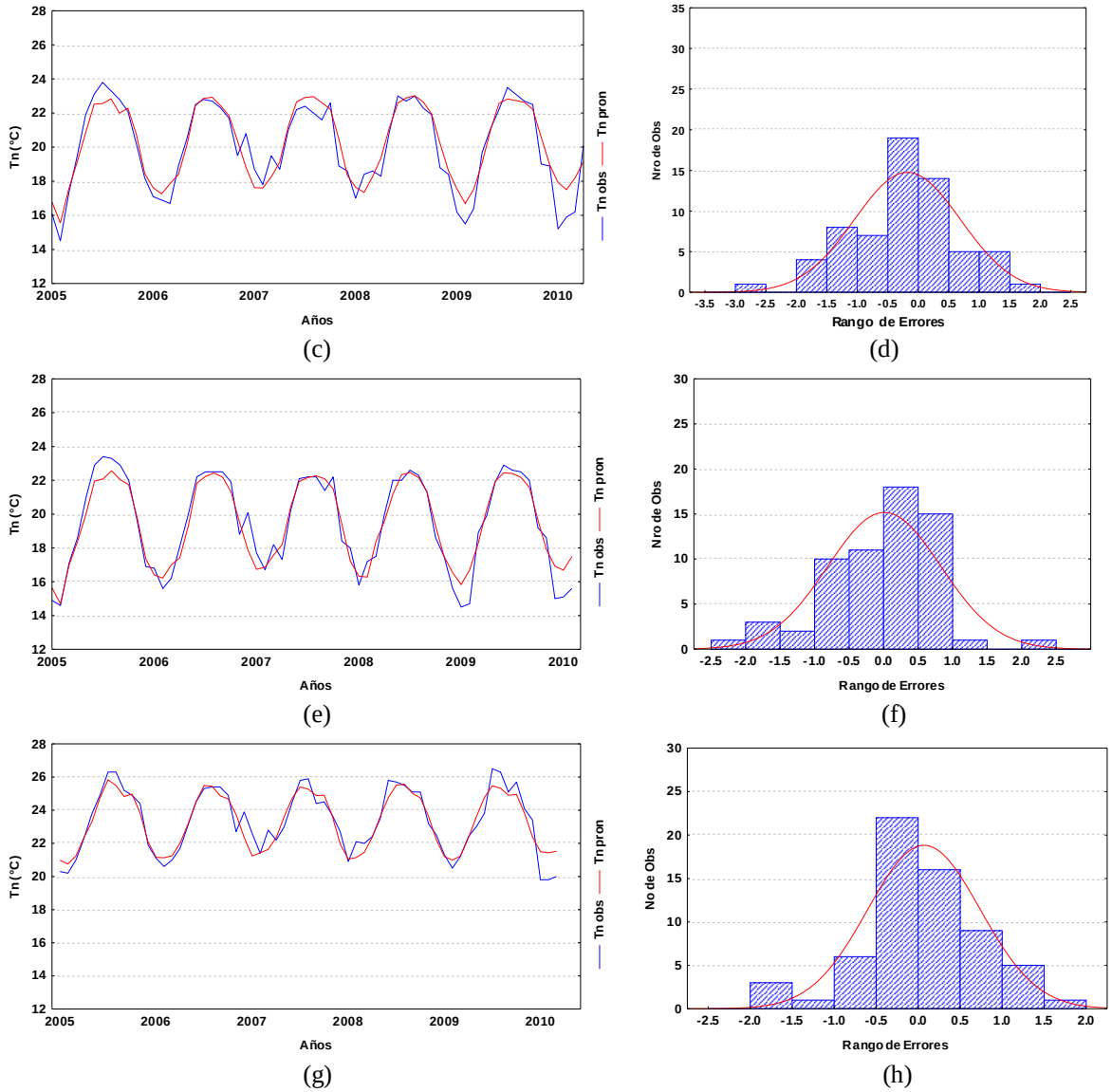



**Fig. 3. Comportamiento real y pronosticado de la temperatura mínima media en las estaciones meteorológicas de Júcaro (a); Venezuela (c), Camilo Cienfuegos (e), Cayo Coco (g) e Histogramas de errores absolutos en la validación, Júcaro (b), Venezuela (d), Camilo Cienfuegos (f) y Cayo Coco (h). Periodo 2005 – 2010.**

### 3.3 Pronóstico de Temperatura máxima media

Los indicadores de la regresión logrados en la confección de las ecuaciones anuales para el pronóstico de temperaturas máximas medias en cada estación se observan en tabla VIII. Los valores de $R^2$ explican un valor mínimo de 0.82 y máximo de 0.93 de la varianza explicada en las ecuaciones de Júcaro y Cayo Coco respectivamente, y los coeficientes Sp son considerablemente elevados, destacándose el valor de 0.92 para Júcaro.

Los menores valores de los EAM-R y EAM-V se lograron en el periodo lluvioso para Cayo Coco, con un mejor desempeño en la validación y coincidiendo con el único valor positivo de RVE; y en general los errores finales varían entre 0.55 y 0.78 Tabla IX mientras que en el periodo lluvioso (Tabla X) los resultados indican una disminución de los errores en la regresión y validación en las cuatro estaciones, destacándose nuevamente la habilidad del método en el pronóstico para Cayo Coco donde finalmente los errores en ambos periodos, y en ambas fases de regresión y validación para esta variable fueron inferiores a los obtenidos para la temperatura mínima y media. Todos los valores de la RVE son positivos entre mayo – octubre, etapa caracterizada por la mayor persistencia de las condiciones del tiempo.

**Tabla VIII. Coeficientes $R^2$ y SP. Ecuación anual de temperatura máxima media.**

| Ecuación Anual Tn | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| $R^2$ | 0.87 | 0.82 | 0.84 | 0.93 |
| Sp | 0.92 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |

**Tabla IX. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tx periodo poco lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.55 | 0.65 | 0.69 | 0.47 |
| EAM-V (°C) | 0.61 | 0.59 | 0.78 | 0.37 |
| RVE | -0.03 | -0.06 | -0.06 | 0.07 |

**Tabla X. Indicadores de la Validación - Regresión. Evaluación Tx periodo lluvioso.**

| Estaciones | 78 345 | 78 346 | 78 347 | 78 339 |
|---|---|---|---|---|
| EAM-R (°C) | 0.46 | 0.54 | 0.56 | 0.35 |
| EAM-V (°C) | 0.42 | 0.50 | 0.54 | 0.32 |
| RVE | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.06 |

En las ecuaciones 9, 10, 11 y 12 de predicción de Tx; el primer predictor es el promedio histórico del mes a pronosticar como en casi la generalidad en las ecuaciones de Tm y Tn, seguido de variables independientes que varían su aparición y posición en las cuatro ecuaciones, apreciándose mayor presencia del promedio del gradiente del viento zonal y meridional en 1000 hPa, el promedio del índice SOI y el Vgrad 850.

**Ecuaciones predictoras de la Temperatura máxima media. Júcaro (9), Venezuela (10), Camilo Cienfuegos (11), Cayo Coco (12).**

$$Tx = 14{,}534 + 0{,}016 * (Tx\ promh)^2 + 0{,}242 * (Vgrad\ 850) - 0{,}154 * (Vgrad\ 850)^2 - 0{,}091 * (U\ grad\ 1000) \quad (9)$$

$$Tx = 15{,}272 + 0{,}016 * (Tx\ promh)^2 + 0{,}199 * (V\ grad\ 850) - 0{,}153 * (V\ grad\ 850)^2 - 0{,}104 * (U\ grad\ 1000) - 0{,}027 * (SOI\ prom2)^2 \quad (10)$$

$$Tx = 13{,}601 + 0{,}016 * (Tx\ promh)^2 - 0{,}747 * (U\ grad\ 1000) - 0{,}063 * (U\ grad\ 1000)^2 - 0{,}035 * (V\ grad\ 1000)^2 \quad (11)$$

$$Tx = 5{,}436 + 0{,}441 * (Tx\ promh) + 0{,}014 * (TSM\ Norte)^2 - 0{,}072 * (Vgrad\ 850)^2 + 0{,}309 * (Vgrad\ 1000) - 0{,}038 * (Vgrad\ 1000)^2 \quad (12)$$

En la figuras 4 (a), 4 (c), 4 (e) y 4 (g) se ilustra el comportamiento real y el pronóstico durante 2005 - 2010 de la Tx obtenido en la validación de las ecuaciones anteriores. Un análisis de la figura 4 (g), permite señalar la gran similitud entre la Tx real y pronosticada en la estación de Cayo Coco, hecho que coincide con los errores más bajos Fig. 4 (h). En la validación para Júcaro, se pronóstico con errores absolutos entre 0 y -0.5°C que sobresalen en número sobre otros rangos; valores negativos indican una sobre - estimación de la variable real en cada pronóstico. En los demás histogramas, figuras 4 (b), 4 (d) y 4 (f), el mayor número de observaciones para cada rango se produce entre - 0.5 y 0.5°C, al igual que en resultados de predicción de Tm y Tn ya analizados.

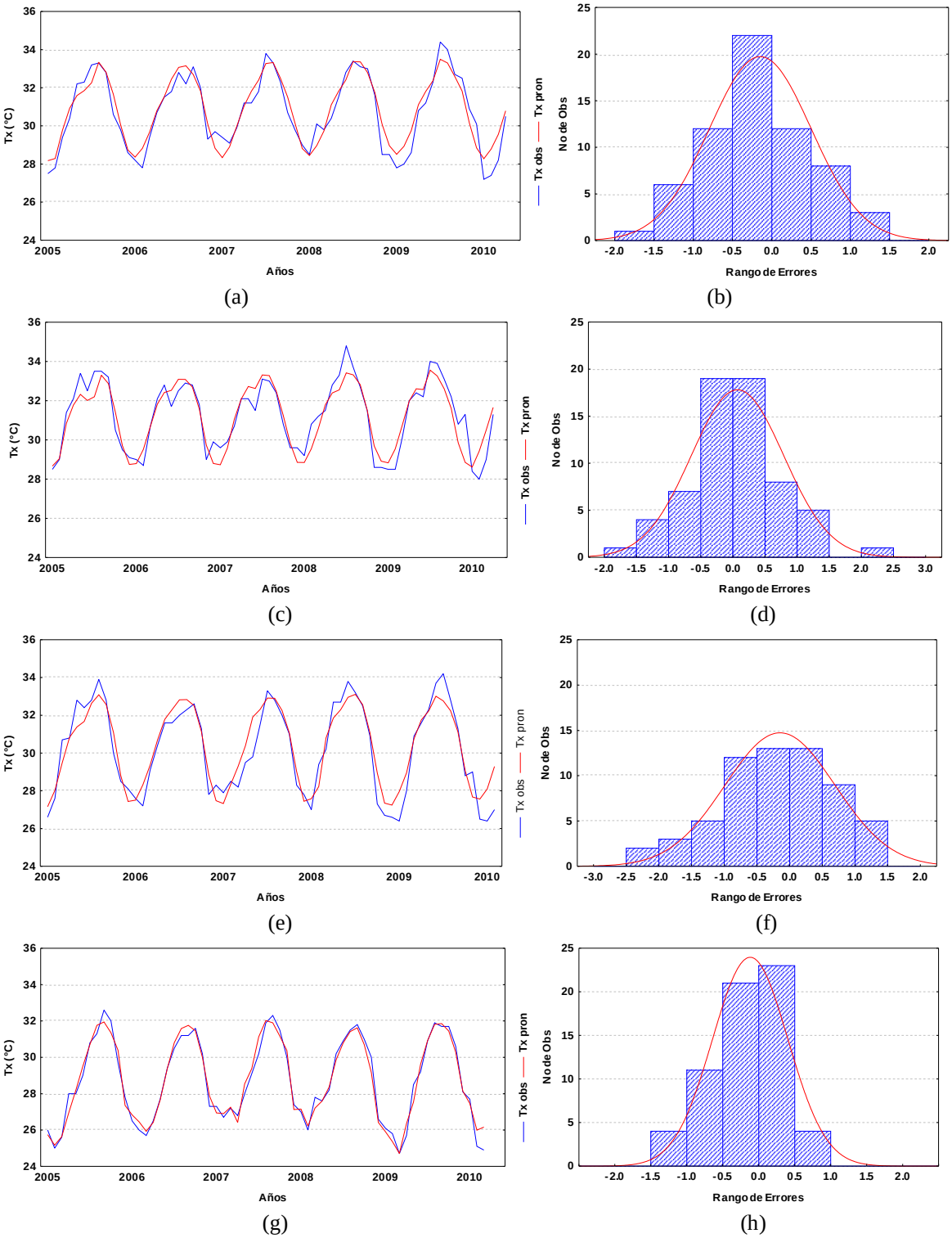



**Fig. 4. Comportamiento real y pronosticado de la temperatura mínima media en las estaciones meteorológicas de Júcaro (a); Venezuela (c), Camilo Cienfuegos (e), Cayo Coco (g) e Histogramas de errores absolutos en la validación, Júcaro (b), Venezuela (d), Camilo Cienfuegos (f) y Cayo Coco (h). Periodo 2005 – 2010.**

**Conclusiones**

Se obtuvo para cuatro zonas geográficas, costa sur, centro – sur, norte y los cayos del norte de la provincia Ciego de Ávila, ecuaciones de predicción de la temperatura media, máxima y mínima media a escala mensual que amplían las posibilidades del servicio especializado de pronóstico climático del Centro Meteorológico Provincial.

Se demuestra la importancia de la persistencia local de las condiciones térmicas en el pronóstico climático mensual de la temperatura para este territorio a través de presencia del promedio histórico mensual y los promedios de temperatura de dos meses anteriores en varias ecuaciones de cada variable.

Se predice adecuadamente la estacionalidad de la temperatura, y los mejores resultados se alcanzaron durante el periodo lluvioso y en el pronóstico de la temperatura media y máxima media, más efectivos para Cayo Coco debido a su posición geográfica, rodeado de mar y menor oscilación térmica.

No se encontró influencia significativa de los índices ENOS, NAO y SOI en la predicción de temperatura mediante las ecuaciones de regresión.

Se recomienda analizar las condiciones meteorológicas asociadas a descensos de temperatura mínima con vista a identificar las variables responsables y el gradiente de flujo meridional en 850 hPa debido a su presencia como predictor en varias ecuaciones, y con ello la influencia de la circulación meridional.

**Referencias**

Alvarado, L. F y Fernández, W. (2001). Variabilidad interanual y estacional de la atmosfera libre sobre Costa Rica durante eventos El Niño. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 8 (2), 116-144.

González Socorro, J., Ballester Pérez, M., Sorí Gómez, R. (2013). Agrupamiento de las estaciones meteorológicas del occidente de Cuba según el comportamiento de la temperatura mínima. Patrones sinópticos asociados. *Ciencias de la Tierra y el Espacio* [En línea], 14. Disponible: http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_14_n2/Art2/Articulo_2.html [Consultado 30 de Julio de 2013].

Gu, X y Jiang, J. 2005. A complex autoregressive model and application to monthly temperature forecasts. *Annales Geophysicae.*, 23, 3229 - 3235.

Gutiérrez, J. M., Cano, R., Cofiño A. S., Sordo C. M. (2004). *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Redes Atmosféricas*. Universidad de Cantabria, Instituto Nacional de Meteorología, España. ISBN 84-8320-281-6, 91-126.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Thatam, R. L., and Black, W. C. (1999). *Análisis Multivariante*, Madrid, Edit. Prentice Hall 5ta Edic.

Hernández Mansilla, A., López Mayea, A., Córdova García, O. L., Alonso Sánchez, J. D. (2009). Climatología de la Temperatura en Ciego de Ávila. Análisis comparativo en dos de sus zonas. Periodo 1970 – 2008. *V Congreso Cubano de Meteorología*. La Habana. Sociedad Meteorológica de Cuba.

Hurrell J, W., Kushnir, Y., Ottersen, G., y Visbeck, M. (2003). The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact. *Geophysical Monograph Series*, 134, 279.

Lecha, L. B., Paz, L. R., y Lapinel, B. (1994). *El clima de Cuba*, La Habana, Editorial Academia, 65 – 82, ISBN 959-02-006-0.

Acerca de los autores:

Rogert Sorí-Gómez.

Máster en Ciencias del Clima en Meteorología, Oceanografía Física y Cambio Climático, es reserva del Grupo Científico del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila. Profesor Instructor, afiliado a la Sociedad Meteorológica de Cuba (SOMET-Cuba) y miembro de la Cátedra de Seguridad y Riesgos del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), pertenece a la Asociación Cubana de Técnicos Agropecuarios y Forestales. (ACTAF)

Alexis Augusto Hernández-Mansilla.

Doctor en Ciencias Agrícolas y Profesor Titular e Investigador Titular del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, miembro de la Sociedad Meteorológica de Cuba (SOMET-Cuba) y de la Asociación Cubana de Técnicos Agropecuarios y Forestales. (ACTAF)

Aliana López-Mayea.
Ingeniera Agrónoma, Especialista Principal del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila., miembro de la Sociedad Meteorológica de Cuba (SOMET-Cuba) y de la Asociación Cubana de Técnicos Agropecuarios y Forestales. (ACTAF)

Oscar Benedico-Rodríguez.
Máster en Meteorología, Investigador Auxiliar y Director del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, miembro de la Sociedad Meteorológica de Cuba (SOMET-Cuba) y de la Asociación Cubana de Técnicos Agropecuarios y Forestales. (ACTAF)

Orlando Lázaro Córdova-García.
Máster en Meteorología, Especialista Principal, Investigador y Profesor Auxiliar, se desempeña como jefe del Grupo de Pronóstico del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, afiliado a la Sociedad Meteorológica de Cuba (SOMET-Cuba).