

INTERCAMBIO DE CALOR SUPERFICIAL EN LA ESTACIÓN DE LA LIBERTAD

Por:

J. W. Garcés-Vargas¹

Abstract

An analysis is achieved by means of the monthly time series of the parameters meteorological-oceanographic and the different fluxes of heat obtained by empiric relationships of the station located in La Libertad from half-year of 1988 until final of 1997, being obtained the monthly climatologies as well as interesting statistical, seemingly the data don't show a relationship between the exchange of heat surface and El Niño-South Oscillation

Resumen

Se realiza un análisis de las series de tiempo mensuales de los parámetros meteorológicos-oceanográficos y los diferentes flujos de calor obtenidos mediante relaciones empíricas de la estación ubicada en La Libertad desde mediados de 1988 hasta finales de 1997, obteniéndose las climatologías mensuales así como estadísticas interesantes, aparentemente los datos no muestran una relación entre el intercambio de calor superficial y El Niño-Oscilación Sur

Introducción

El sistema océano-atmósfera es considerado un gran sistema por el cual ingresa la principal fuente de energía, el sol, parte de esta energía es absorbida y reflejada por la atmósfera y las nubes antes de llegar al océano y parte de la energía restante es reflejada por el océano.

El océano gana y pierde calor de distintas maneras según Enfield (1976), Brown *et al.* (1989) y Tomczak (1998), así tenemos que:

El océano gana calor al recibir energía solar en forma de radiación de onda corta (Q_s), por procesos químicos y biológicos (*), del interior de la tierra (*), por fricción de corrientes (*) y radioactividad (*); pierde calor por energía de la superficie oceánica reflejada en forma de radiación de onda larga (Q_b); gana o pierde calor por conducción directa (molecular o turbulenta) de calor sensible entre el océano y la atmósfera (Q_h), al haber evaporación (pierde) desde la superficie y condensación (gana) en la superficie (Q_e), al haber advección o difusión horizontal de aguas adyacentes más cálidas o frías (Q_v), al haber un aumento o disminución de la temperatura del agua, la que será suplida o reducida (Q_t)

Así entonces la ecuación completa del balance del calor para una parte del océano es:

$$Q_s + \text{procesos químicos y biológicos} + \text{interior de la tierra} + \text{fricción de corrientes} + \text{radioactividad} = Q_b \pm Q_h \pm Q_e \pm Q_t \pm Q_v$$

La importancia de esta ecuación de balance es que la mayoría de los flujos de radiación pueden ser obtenidos mediante relaciones empíricas en que se considera medición de parámetros oceanográficos y meteorológicos, otros flujos, en muchos de los casos pueden ser considerados muy poco significativos, en nuestro caso, se tratará de inferir el calor ganado o perdido en La Libertad por advección o mezcla,

considerando los señalados con (*) como insignificantes y un estado fijo de temperatura, es decir que la temperatura media de la región no cambia con el tiempo, esto es cierto para un ciclo estacional, (Enfield 1976) entonces el valor de $Q_t = 0$, así entonces definimos nuestra ecuación de intercambio de calor superficial como:

$$Q_{\text{neto}} = Q_s - Q_b \pm Q_h \pm Q_e$$

en donde el Q_{neto} , representaría el calor ganado o perdido por advección (Q_v)

En el Ecuador no se tiene conocimientos de trabajos previos que se hayan realizado en este sentido con datos *in situ*, por lo que este es un ejemplo de como es el mecanismo de balance de calor en una estación representativa del país.

Las estaciones en el Ecuador costero

El clima costero del Ecuador se encuentra regido en cierta forma por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual se encuentra en diferentes posiciones dependiendo del mes del año, así esta banda sinusoidal formada por nubes convectivas de desarrollo vertical, pasa durante años "normales" hacia el norte de los 0°, (en eventos "El Niño" puede pasar incluso hacia el sur del Ecuador geográfico) su posición más norteña es entre los meses de Agosto y Septiembre en donde los vientos alisios del sureste se intensifican y los del noreste se debilitan y su posición más sureña entre los meses de Febrero y Marzo en donde los vientos del sureste actúan debilitados y los del noreste intensificados (Moreano 1983)

En el Ecuador, existe dos principales corrientes que la afectan, en diferentes forma y épocas del año, la una es llamada Corriente de Humboldt, la cual proviene de Chile y baña las costas de Ecuador, tiene características de aguas "frías y salinas", en los meses de diciembre y principios de cada año, avanza hasta el sur del Ecuador,

¹ Universidad de Concepción, Fac. de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Dpto de Oceanografía. Fono: (56-41)204239/203419. Fax: (56-41)256571/225400. Barrio Universitario s/n, Casilla 160C, Cabina 9. E-mail: jgarces@udec.cl, jgarces@mixmail.com

y a mediados de cada año esta se intensifica llegando hasta la altura del Golfo de Guayaquil, en donde gira hacia el oeste, la otra es la corriente El Niño, la cual proviene de la cuenca de Panamá y tiene características de aguas "calientes y dulces" (Espinoza 1996)

Así en la costa ecuatoriana a diferencia de las altas latitudes, se pueden diferenciar claramente dos estaciones en el año, la estación "lluviosa" (cuando la ZCIT se encuentra hacia el sur y la corriente El Niño hace su mayor influencia sobre las costas ecuatorianas, Diciembre-Mayo) y la estación seca (cuando la ZCIT y la corriente de Humboldt se encuentra hacia el norte, Junio-Noviembre)

Intercambio de Calor Superficial

Como habíamos definido anteriormente la ecuación para calcular Intercambio de Calor Superficial fue:

$$Q_{\text{neto}} = Q_s - Q_b \pm Q_h \pm Q_e$$

donde todos los flujos están dados en $W m^{-2}$,

la Q_s es calculada de acuerdo a Dobson y Smith (1985),

$$Q_s = (1.0 - a) \frac{s_0 \sin(90.0 - \phi)}{r^2} [a(c) + b(c) \sin(90.0 - \phi)]$$

donde a es el albedo y es inferido del gráfico 2.2(b) de Lalli y Parsons (1997), $a = \exp(-0.0795 \phi + 0.04)$; ϕ es el ángulo del cenit del sol; s_0 , la constante solar ($1368 W m^{-2}$); r , la actual distancia tierra-sol dividida por el promedio de la distancia; c , Cobertura de Nubes (CN) en fracciones, $a(c)$ y $b(c)$ son coeficientes que dependen de la CN.

La relación empírica para calcular Q_b es calculada como se describe en Haney (1971),

$$Q_b = e_o (0.39 - 0.05 E^{0.5}) (1 - 0.6c^2) \sigma (T_o)^4,$$

donde $e_o = 0.985$ Kondo (1975); E , presión de vapor en hectopascales; σ , la constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$); y T_o , Temperatura Superficial del Mar (TSM) en $^{\circ}K$. La presión de vapor (E) resulta de $E = rE_s$, donde r es la Humedad Relativa (HR); y E_s es la presión de vapor saturada en hectopascales. E_s es calculada mediante la ecuación de Fleagle-Bunsinger, $E_s = 10^{(9.4051 - 2353.0/T_a)}$, donde T_a es la Temperatura Superficial del Aire (TSA) en $^{\circ}K$.

La ecuación para calcular Q_h es tomada de Kondo (1975),

$$Q_h = \rho_a c_a C_H W (T_a - T_o),$$

Donde ρ_a es la densidad del aire ($\rho_a = 1.2 Kg m^{-3}$), c_a es el calor específico del aire ($c_a = 1004 J Kg^{-1} K^{-1}$), C_H es el coeficiente de transferencia de calor sensible y W es la velocidad del viento en $m s^{-1}$.

La ecuación para calcular Q_e es tomada también de Kondo (1975),

$$Q_e = \rho_a h_o C_E W [q(T_a) - q_s(T_o)],$$

donde h_o es el calor latente de vaporización ($h_o = 2.45 MJ Kg^{-1}$) y C_E es el coeficiente de calor latente.

Humedad de saturación específica q_s es dado por $q_s = \epsilon E_s(T_o)/p$, donde $\epsilon = 0.622$ que es el radio del peso molecular del agua para el aire seco y p es la Presión Atmosférica (PA) en hectopascales. La humedad específica q es calculada de $q = \epsilon r E_s(T_a)/p$.

Los coeficientes de transferencia C_H y C_E fueron ajustados a una altura del sensor de 20 m, dependiente de la W y la diferencia de la temperatura aire-mar para todos los cálculos de los flujos turbulentos, siguiendo Kondo (1975)

Materiales y métodos

La estación de La Libertad se encuentra ubicada en $2^{\circ}12'S$ y $80^{\circ}54'W$ (Figura 1) en la Península de Santa Elena, es la estación costera más hacia el oeste del Ecuador y uno de los mayores registros oceanográficos y meteorológicos; debido a que se encuentra en una posición privilegiada se puede indicar que es la mejor estación oceanográfica del país.

Para calcular el Intercambio de Calor Superficial en La Libertad se trabajó con los registros históricos de promedios de 3 mediciones diarias de TSA, TSM, HR, CN, PA y W desde el 8 de mayo de 1988 hasta el 30 de Noviembre de 1997 proporcionados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), los valores faltantes se los completó con el promedio entre días siendo éstos siempre menos de 4 seguidos y solamente para la HR (6), PA (5), CN (4) y W (6).

Por medio de los promedios diarios se obtuvo las climatologías diarias de las 6 variables considerando para ello los valores desde el 8 de mayo de 1988 hasta el 31 de Diciembre de 1996, el año 1997 no fue considerado debido a que este año se produjo uno de los más grandes eventos "El Niño" (Martínez no publicado), lo que alteraría significativamente las climatologías. Debido a la gran variación diaria mostrada en las series, se estableció trabajar con los promedios y las climatologías mensuales, de la misma forma se establecieron las anomalías para de esta manera filtrar la estacionalidad, Figura 2.

Para calcular los diferentes flujos de radiación se utilizó las relaciones empíricas señaladas anteriormente y para poder hacer un análisis mejor se hizo un trabajo parecido al de las mediciones *in situ*, para establecer los cambios en los flujos de calor durante los meses y años en cuestión, obteniendo de esta manera, los promedios y las climatologías mensuales, Figura 3

Análisis de las series de tiempo *in situ*

Como se puede apreciar en la Figura 2 se destaca claramente una estacionalidad en la TSM, TSA y PA y menor en la HR y CN, en la W no se nota muy claramente, pero en todo caso se observa que durante el primer semestre la W es variante y menor a la del segundo semestre que es más o menos constante y puede deberse a que ésta es la resultante de las componentes zonal y meridional, ésta última componente sí ha presentado una clara estacionalidad en una estación muy cercana a La Libertad, en Salinas ($2^{\circ}12'S-80^{\circ}59'W$), en otro periodo de tiempo (Bayot y Cornejo-Rodríguez 1996).

En la Figura 2 de anomalías de TSM, TSA y PA, se observa claramente los eventos "El Niño" de 1991-1992 y el de 1997, con aumento en las anomalías para las dos primeras variables y una disminución para la última y también los eventos "La Niña" de 1988-1989 y 1995-1996 siendo más evidentes en la PA, la clasificación de los eventos ENOS se la tomó de acuerdo a Garcés-Vargas (no publicado). En lo referente a la HR y CN las anomalías se muestran muy variables sin una clara tendencia, la W en cambio muestran un claro aumento de las anomalías positivas en los años 1996 y 1997, ello puede deberse a que en una fase precursora de "El Niño" (1996) los vientos del oeste se intensifican, Zambrano (1996) y en "El Niño" (1997) los vientos meridionales también lo hacen, por lo que la resultante aumenta significativamente.

Análisis de las series de tiempo correspondientes a los flujos de calor

Se puede observar que la Q_s es mayor durante la estación húmeda y está principalmente influenciada por ϕ (éste es mayor durante esos meses) y modulada por la CN, obsérvese como hay una relación inversa entre la Q_s y la CN, así tenemos que hacia finales de los años 89, 90, primer semestre de los años 90 y 91 y mediados del año 97 la CN presenta anomalías negativas y la Q_s anomalías positivas. En lo que respecta a la Q_b ésta es mayor negativamente en la estación lluviosa (en la mayor parte del tiempo), si bien es cierto es proporcional a la TSM, se encuentra también modulada principalmente por la CN siendo proporcionalmente inversa, es así que presenta un parecido comportamiento a la Q_s . La Q_e presenta una relación inversa a la TSA y a la TSM, siendo entonces mayor negativamente durante la estación seca, la W afecta esta radiación pero no es el de todo claro, en todo caso la relación inversa de las temperaturas se muestra más evidente durante el evento "El Niño" de 1997. A diferencia de la Q_s , la Q_b muestra una clara modulación de la W, siendo a grandes rasgos, menor durante la estación húmeda y mayor en la seca, así también se observa el efecto de la TSM y la TSA, pero en todo caso no es muy evidente. Figuras 2 y 3

En la tabla 2 se presentan algunas propiedades estadísticas interesantes correspondientes a los flujos de calor.

Discusión y conclusiones

La cantidad de radiación recibida y el balance de radiación medio ($Q_s - Q_b$) que es aproximadamente 193.9 y 159.2 W m⁻² respectivamente (Tabla 2), es alrededor de 20 y 30 W m⁻² respectivamente mayor al inferido de las Figuras 6.1 y 6.2 de Brown *et al.* (1989), esto se puede deber tal vez a variaciones locales de los parámetros meteorológicos u oceanográficos, principalmente del viento (brisa marina), así como también la resolución del gráfico la cual es a una escala global lo que no permite hacer una apreciación puntual.

El valor medio del Q_{neto} (Tabla 2), es concordante con la climatología mostrada en la Figura 4 (panel superior) por Philander y Hurlin (1988)

No se aprecia una aparente relación entre el Q_{neto} y El Niño-Oscilación Sur, aunque según los resultados de Philander y Hurlin (1988), en eventos cálidos ésta debería disminuir y en fríos aumentar pero a escala regional (Pacífico Tropical).

Los parámetros meteorológicos u oceanográficos que mayor hacen inferencia en el cálculo de los diferentes flujos de calor son la TSM, TSA, CN y W.

El Q_{neto} medio indicaría que existe un flujo hacia el sur de aguas cálidas, siendo este mayor durante la estación lluviosa y menor durante la seca (Figura 3), esto es concordante con la influencia de ambas corrientes, la de "El Niño" y la de Humboldt y congruente con el flujo de calor que debe existir de latitudes bajas hacia los polos.

Referencias

- Bayot B., y M. P. Cornejo-Rodríguez, 1996. Evidencia de Ondas Ecuatoriales. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 8(1), 1-14.
- Brown, J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery and J. Wright, 1989. *Ocean Circulation. The Oceanic Heat Budget. Oxford, Pergamon Press*, 159-163.
- Dobson y Smith, 1985.
- Enfield, D. B., 1976. Manual de Prácticas de Oceanografía Física. Balance Calórico. *Guayaquil, INOCAR*, 57-66.
- Espinoza, J., 1996. El Niño y sus implicaciones sobre el medio ambiente. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 8(1), 115-134.
- Garcés-Vargas, J. Índice Multivariado ENOS de las Costas del Ecuador. No publicado
- Haney, 1971.
- Kondo, J., 1975. Air-Sea Bulk Transfer Coefficients In Diabatic Conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, 9, 91-112
- Lalli, C. M., y T. R. Parsons, 1997. *Biological Oceanography an Introduction. Solar Radiation. Oxford, Butterworth-Heinemann*, 16-18.
- Martínez, R., E. Zambrano, J. Garcés-Vargas. Variabilidad Oceanográfica en el Mar Ecuatoriano Asociada con el Evento ENSO 97-98. No publicado
- Moreano, J., 1983. Interacción Océano-Atmósfera Sobre la Zona Costera del Ecuador. *Act. Oceanogr. Pacific.*, 2(1), 1-5.
- Philander, S. G. H., y W. J. Hurlin, 1988: The Heat Budget of the Tropical Pacific Ocean in a Simulation of the 1982-83 El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 926-931.
- Tomeczak M., 1998. An Introduction to Physical Oceanography. *Oceanography Lecture Notes*, <http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc/lecture04.html>, Lecture 4.

Tabla 1.- Propiedades estadísticas de las series de tiempo. Periodo de análisis: 8/05/1988-30/11/1997

	TSA (°C)	TSM (°C)	HR (%)	PA (mb-1000)	CN (octantes)	W (m/s)
Máximo	28.3	30.8	96.0	18.0	8.0	11.7
Mínimo	18.5	18.6	63.0	7.5	0.0	0.0
Media*	23.2	24.7	83.2	13.8	6.7	3.6

* Corresponde a la climatología diaria

Tabla 2.- Propiedades estadísticas de las series de tiempo obtenidas. Periodo de análisis: 8/05/1988-30/11/1997

	Q_a ($W m^{-2}$)	Q_b ($W m^{-2}$)	Q_h ($W m^{-2}$)	Q_e ($W m^{-2}$)	Q_{neto} ($W m^{-2}$)
Máximo	323.1	-17.9	12.8	0.0	265.4
Mínimo	114.9	-69.7	-36.8	-262.2	-171.8
Media*	193.9	-34.7	-9.1	-66.6	83.4

* Corresponde a la climatología diaria

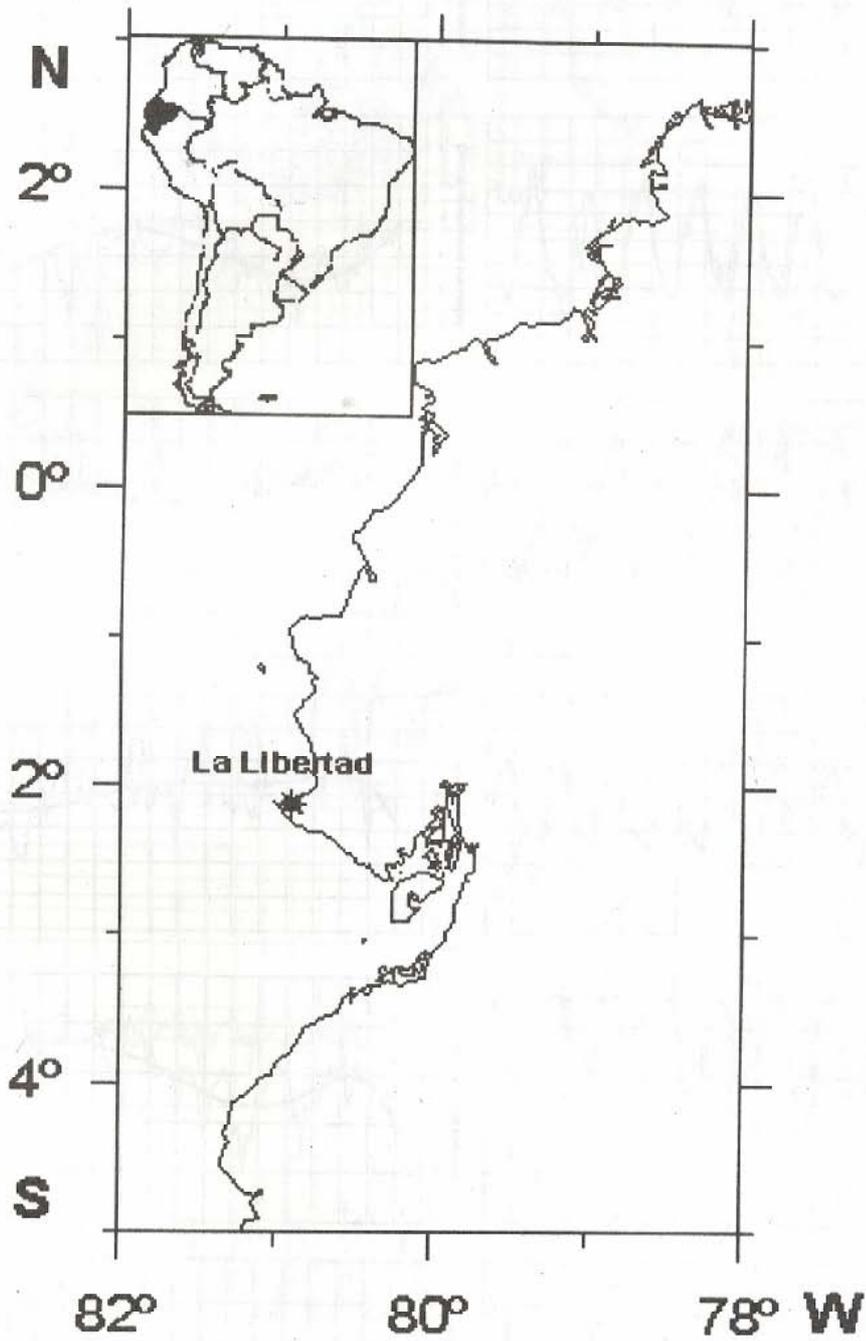


Figura 1.- Ubicación de la estación La Libertad

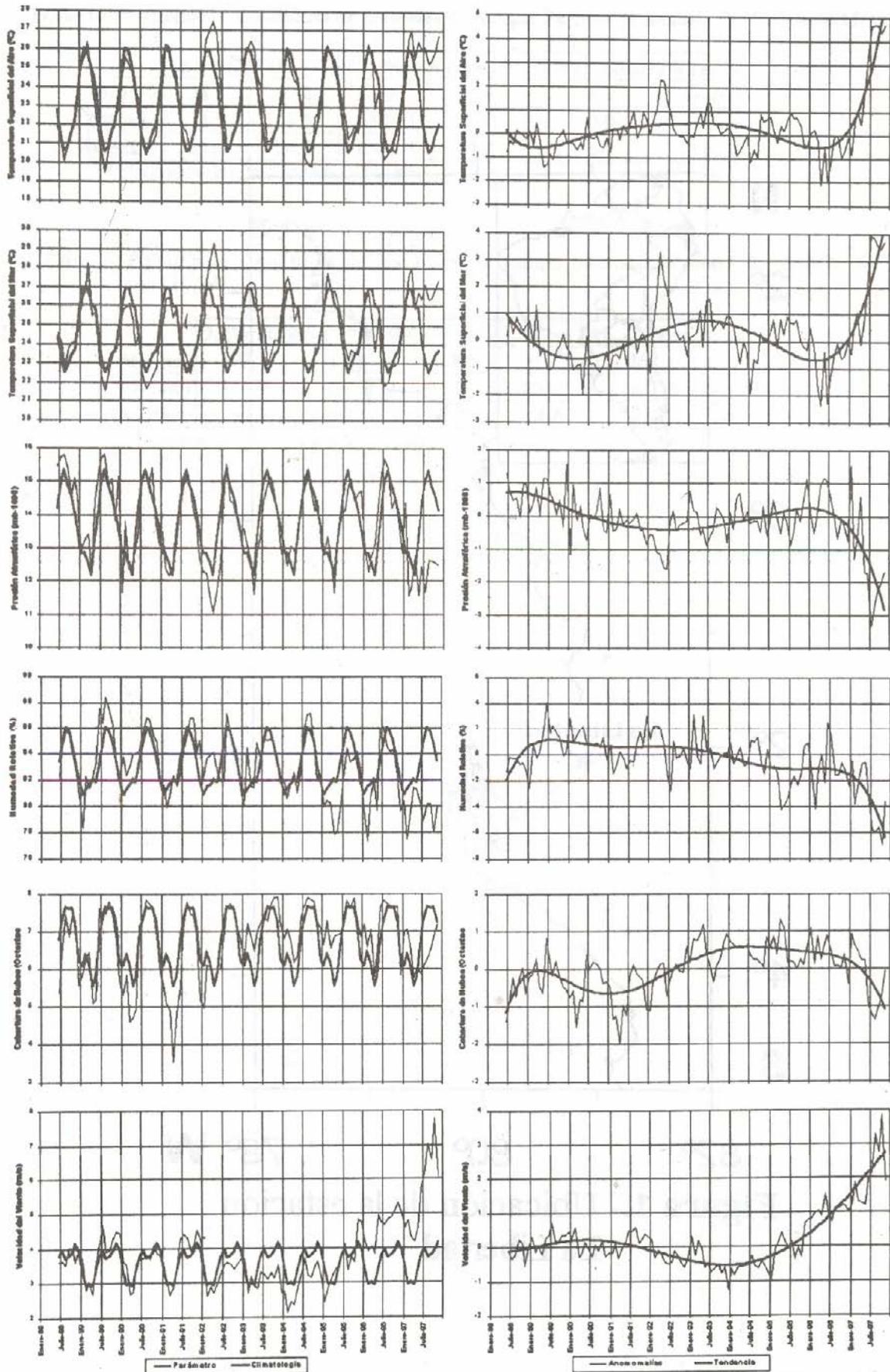


Figura 2.- Medias mensuales-climatología (izquierda) y anomalías-tendencias (derecha) de arriba hacia abajo de TSA (°C), TSM (°C), PA (mb-1000), HR (%), CN (Octantes) y W (m/s).

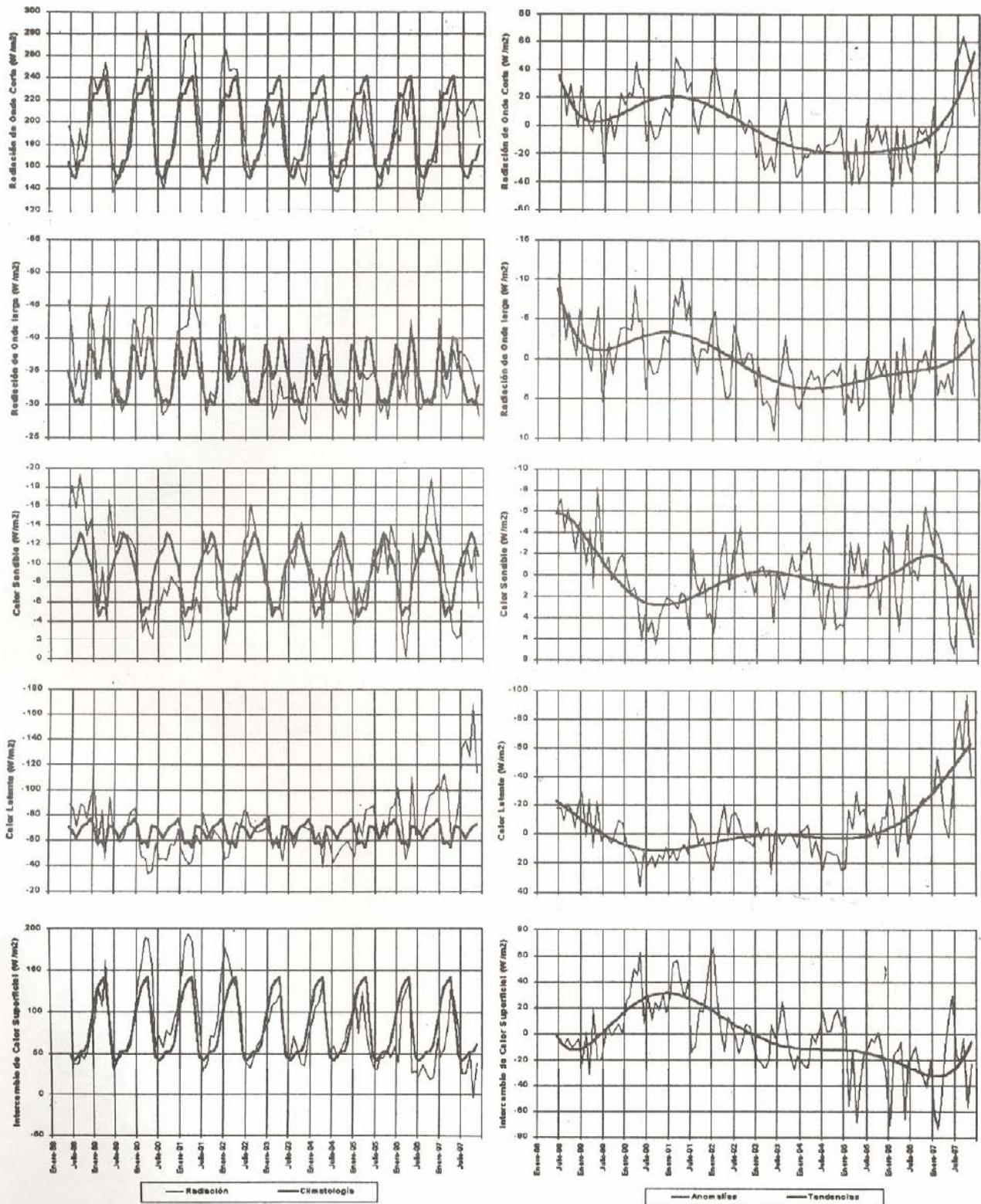


Figura 3.- Medias mensuales-climatología (izquierda) y anomalías-tendencias (derecha) de arriba hacia abajo de Q_s , Q_b , Q_h , Q_e y Q_{net} en $W m^{-2}$.