

# Cálculo de la tendencia interanual utilizando una nueva metodología y su relación con el evento Enos.

Autor: ROSENDO ÁLVAREZ, LAURA AENLLE, DULCE PÉREZ, LOURDES ALVAREZ, ISRAEL BORRAJERO.

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. E-mail: rosendo@met.inf.cu

## Resumen

*Se analizan los errores que pueden cometerse en la metodología de Alvarez (2000) cuando ésta que calcula la variabilidad quinquenal se aplica a la variabilidad interanual. Se discuten los casos de las matrices temperatura - hora del día y temperatura - humedad. Es introducida una separación en la serie de datos para años ENOS (El Niño Oscilación del Sur), AENOS y normales y se encuentra el error que introduce el ENOS en el cálculo interanual. Se obtiene la variabilidad de la matriz temperatura - humedad relativa para los casos ENOS y no ENOS. Se concluye que la metodología puede ser utilizada para el cálculo y pronóstico de la variabilidad interanual si se posee un buen pronóstico de la aparición del evento ENOS con errores menores que el 8%, y que la influencia del ENOS durante su ocurrencia es pequeña en la variabilidad del par temperatura - humedad relativa.*

*Palabras Claves: Variabilidad, ENOS, par temperatura - humedad relativa.*

## Introducción.

En fecha tan cercana como el año 2000 Alvarez, (Alvarez, 2000) presentó una metodología novedosa para calcular la tendencia de una serie cronológica apoyado en la concepción de ésta como un espacio de Hilbert y la aplicación del análisis multivariado. En ella se dividía la serie en quinquenios y, después, de ajustar cada uno de los  $a_{ij}$  de la matriz de tendencia mediante una cadena de Markov compuesta por un término lineal (tendencia) y  $n-1$  términos oscilatorios (perturbaciones oscilatorias y efectos feed - back), se despreciaban los términos oscilantes quedando el término lineal como representante de la tendencia, cuando la cadena obtenía más de un 90% de correlación con los  $a_{ij}$ .

Al probar el resultado con muestras independientes para las variables meteorológicas cobertura nubosa, rapidez y rumbo del viento, temperatura y humedad relativa se encontró que el error en el pronóstico de frecuencia para un quinquenio resultaba en todos los casos menor que el 1%, en un análisis de correlación para cada uno de los  $a_{ij}$  que conforman la matriz de tendencias.

Sin embargo, al probar con la variabilidad interanual se encontró que los valores de correlación se distanciaban bastante de los obtenidos para un quinquenio debido a que las oscilaciones que son eliminadas en la metodología original estaban ahora presentes y el ruido que estas introducían provocaban para un año errores mayores que para el quinquenio.

El objetivo de este trabajo es adaptar la metodología encontrada para la variabilidad quinquenal a la variabilidad interanual considerando el ruido introducido por la ocurrencia o no, del evento ENOS.

## Materiales y Métodos.

Para la realización de este trabajo se utilizaron las series de datos de temperatura a cada hora del día y del par temperatura humedad de la Estación Casablanca desde 1970 hasta el 2002. Fueron utilizados los programas confeccionados al efecto y una PC Pentium.

Basados en la información brindada por Lapinel et. al (2003) se dividió la serie de datos en años ENOS (cuando ocurría el evento en mas de 2 meses del año) y años no ENOS ( cuando el evento no se presentaba durante el año completo). También se tuvieron en cuenta los eventos AENOS que fueron eliminados de las consideraciones por su poca representación.

En los años comprendidos en la serie de datos meteorológicos (1970 - 2002) se obtuvieron 15 años con evento ENOS, 12 años normales y 6 años con evento AENOS.

## Discusión.

### Aplicación de la metodología a la variabilidad interanual.

Comenzando con la matriz de tendencia interanual del par temperatura - hora del día vemos la Figura 1 que presenta tendencias crecientes entre las 0100 y las 0700 horas para valores de temperatura  $T$  comprendidos entre 21°C y 22°C, entre las 1300 y las 1600 horas para valores de  $T$  comprendidos entre 26°C y 28°C y entre las 1900 y 2200 horas para valores de  $T$  comprendidos entre 22°C y 24°C.

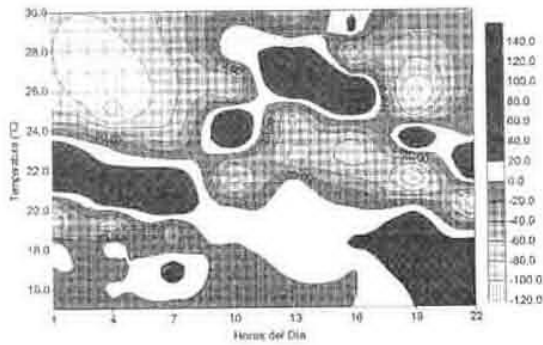


Fig. 1. Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca.

La tendencia negativa predomina para valores de T mayores que 24°C entre las 0100 y las 0700 y las 1900 y 2200 horas y para valores de T entre 20°C y 24°C para las horas comprendidas entre las 0700 y las 1900.

Sin embargo, si miramos a la figura 2 vemos que las correlaciones que en los trabajos citados presentaban valores de correlación mayores que 0.92 se han caído con máximos de 0.7 aumentando la incertidumbre entre el valor real y el ajustado desde el 85% de la varianza explicada hasta el 49%.

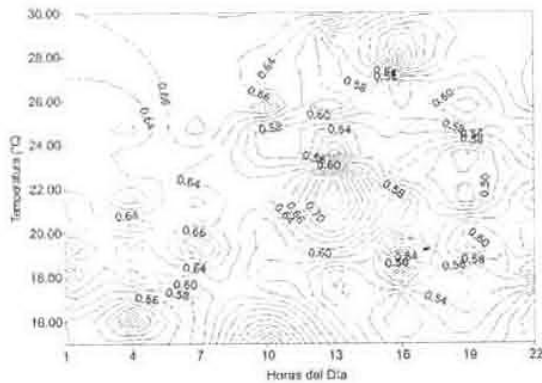


Fig. 2. Matriz de correlación interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca.

Lo mismo ocurre con el par temperatura – humedad relativa del aire (T – Hr) como podemos ver en la Figura 3 donde las tendencias crecientes se agrupan entre el 80% y el 95% con T entre 18°C y 22°C, tomando valores decrecientes para el resto de los rangos. Otra vez los valores de correlación de la matriz toman valores por debajo de 0.7 explicando sólo el 49% de la varianza (Figura 4).

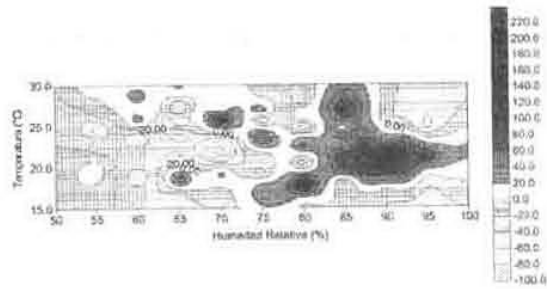


Fig. 3. Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca.

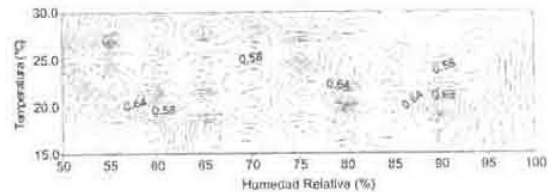


Fig. 4. Matriz de correlación interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca.

### Análisis de la tendencia en los años ENOS para el par Temperatura – Horas del Día.

A partir de la información clasificada de la manera indicada en años ENOS y no ENOS se elaboró la matriz de tendencia correspondiente al par Temperatura – Horas del Día (Figura 5) donde puede observarse que en los años en que ocurre ENOS las tendencias toman una forma definida con valores crecientes por encima de los 26°C con máximo en ese valor y que también las tendencias son crecientes entre las 0100 y las 0700 horas para valores de T > 22°C también con máximos en ese valor. En el resto de los valores las tendencias son decrecientes entre las 0100 y las 2200 horas, con T < 22°C, y entre las 1100 y las 1600 y las 2400 horas con T < 24°C.

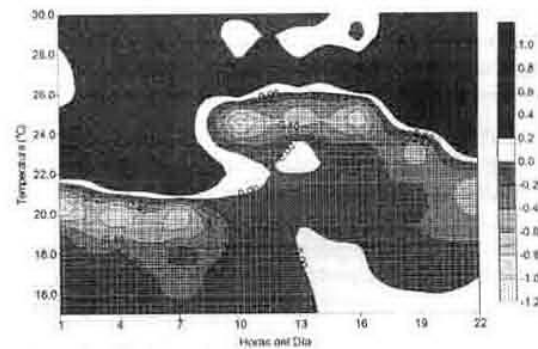


Fig. 5. Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca. Años en los que estuvo presente el evento ENOS

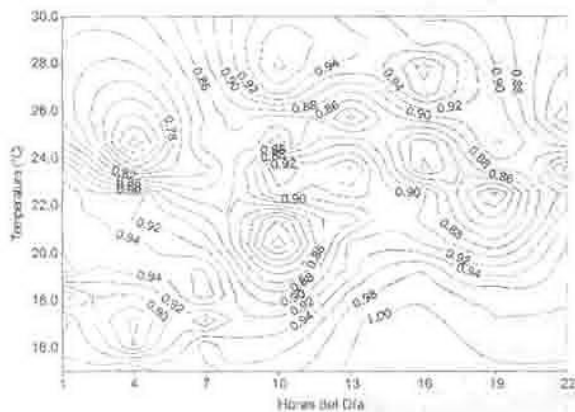


Fig. 6. Matriz de correlación interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca. Años en los que estuvo presente el evento ENOS

Si analizamos la matriz de correlación (Figura 6) vemos que los valores han aumentado con máximos, en general de 0.94 explicando el 88% de la varianza.

#### Análisis de los años NO ENOS para el par Temperatura – Horas del Día.

De la misma manera se operó con los años en que no estuvo presente el ENOS (Figura 7) encontrándose que los valores de tendencia son crecientes para todas las horas por encima de los 24°C con aumentos también entre las 0100 y las 0700 horas para valores de T > 21°C y entre las 1600 y las 2200 horas para T > 21°C con un valor máximo en T = 23°C.

También en este caso la matriz de correlación (Figura 8) aumenta sus valores llegando a un máximo de 0.98 que interpreta el 96% de la varianza.

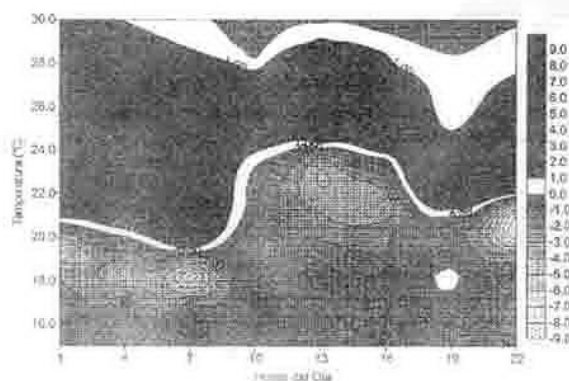


Fig. 7. Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca. Años en los que no estuvo presente el evento ENOS.

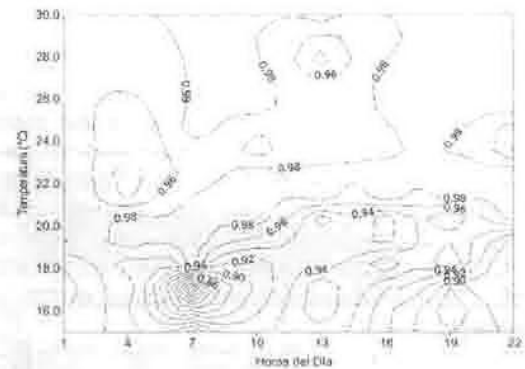


Fig. 8. Matriz de correlación interanual del par Temperatura Tiempo para la Estación de Casablanca. Años en los que no estuvo presente el evento ENOS.

#### Análisis de la tendencia en los años ENOS para el par Temperatura - Humedad Relativa.

Como podemos apreciar en la Figura 9, que representa el comportamiento de la humedad relativa del aire de acuerdo con la T en el caso de estar presente el evento ENOS, los valores de tendencia positiva se agrupan sobre una diagonal que va desde los 30°C y 53% de Hr hasta los 20°C y 100% de Hr con máximo en 21°C y 95% de Hr. Por debajo de esa diagonal todos los valores presentan tendencia negativa con mínimos en 20°C y 90% de Hr. En este caso también las correlaciones aumentan (Figura 10) con valores de hasta 0.92 interpretando el 85% de la varianza al igual que cuando la metodología se aplicó por quinquenios.

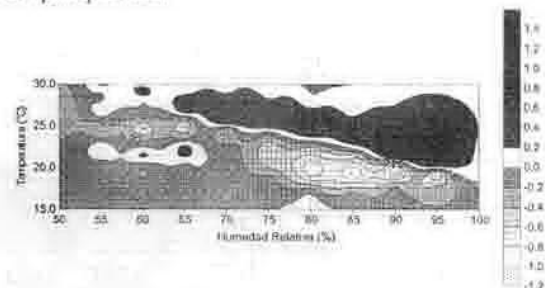


Fig. 9. Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca. Años en los que estuvo presente el evento ENOS.

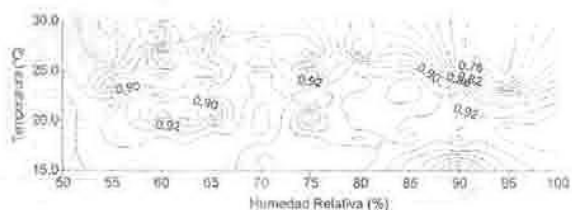


Fig. 10. Matriz de correlación interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca. Años en los que estuvo presente el evento ENOS.

## Análisis de los años NO ENOS para el par Temperatura - Humedad Relativa.

En el caso en que no estuvo presente el evento ENOS la matriz de tendencia presenta aumentos alrededor de una línea en los 25°C especialmente para valores bajos y altos de la Hr con decrecimientos por debajo de ese valor de T para todos los valores de Humedad Relativa (Figura 11). La matriz de correlación presenta valores aún mayores que en el caso anterior (Figura 12) llegando a 0.96 para interpretar el 92% de la varianza.

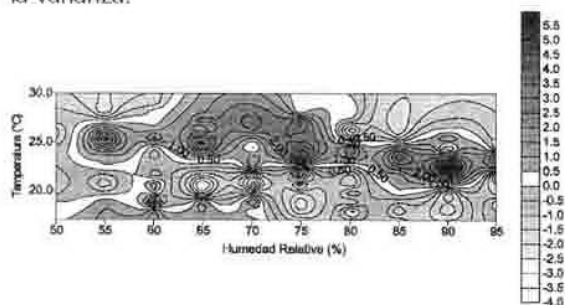


Fig. 11 Matriz de tendencia interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca. Años en los que no estuvo presente el evento ENOS.

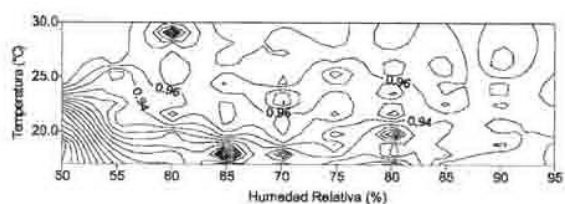


Fig. 12 Matriz de correlación interanual del par Temperatura Humedad para la Estación de Casablanca. Años en los que no estuvo presente el evento ENOS.

## Forzamiento de la variabilidad.

Para conocer la influencia del ENOS como término de la cadena para el cálculo de la tendencia anual se realizó el procedimiento que sigue.

1. A partir de la Tabla 1 facilitada por Lapinel, 2002 se separaron de la serie 1970-2001 los casos sin ENOS, con ENOS y AENOS encontrando que en la serie ocurrían 15 años con evento ENOS, 6 con AENOS (muy pocos para ser considerados) y 12 sin efecto, que se denominan normales.
2. Tomando la serie completa se calculó la matriz de tendencias anuales para el par temperatura humedad relativa de la estación Casablanca. En los cálculos fue utilizado un par para ampliar la posibilidad de discriminar el error.
3. Se calculó la matriz de correlación para las tendencias anteriores. (ver figura 13).
4. Se tomaron por separado las series para años ENOS y años normales (no se tomaron los AENOS por su pequeña representación) y se calcularon las matrices de tendencia y de correlación de éstas.

Como puede verse en la figura 14 cada uno de los casos separados ENOS y normales presentan valores más bajos de la tendencia neta, especialmente la distribución correspondiente a los años ENOS lo que implica que el ruido introducido por el evento en la tendencia es pequeño aunque se hace sentir en el análisis.

		Humedad Relativa (%)										
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatura (°C)	15	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.02	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	-0.002	0	0	0	0
	17	0	0	0	-0.035	-0.014	0	0	0.002	-0.015	0	0
	18	0	0	-0.036	0.052	0.010	0.042	0.122	-0.054	0.042	-0.18	0
	19	0	0	-0.084	0.050	0.027	-0.054	0.045	0.050	0.044	0.008	0
	20	0	0.013	-0.003	0.009	0.023	0.012	-0.045	0.063	0.155	0.021	0
	21	0	0.003	-0.060	-0.060	-0.091	-0.029	-0.014	0.131	0.316	0.136	0
	22	-0.016	-0.041	-0.001	-0.019	-0.100	-0.009	0.030	0.026	0.139	0.023	0.026
	23	0	-0.007	-0.070	-0.031	-0.070	0.080	0.066	0.007	-0.001	0.033	0
	24	0	-0.048	-0.052	-0.067	-0.026	0.060	-0.007	0.114	0.046	-0.043	0
	25	0	-0.084	-0.003	-0.0002	0.046	-0.009	-0.098	-0.055	-0.016	0	0
	26	0	-0.020	0.048	0.032	0.153	-0.062	0.058	0.111	0	0	0
	27	0	-0.001	0.005	-0.058	-0.039	0.076	-0.005	0	0	0	0
28	-0.025	-0.023	-0.023	-0.027	0.013	-0.008	-0.0031	0	0	0	0	
29	0	0.018	0.032	0.022	0.011	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fig. 13 Matriz de tendencia anual del par temperatura – humedad para la estación meteorológica de Casablanca, Serie 1970 – 1999 de observaciones trihorarias. En ella se suman los elementos forzantes interanuales, en especial la ocurrencia del evento ENOS.

Tabla 1. Ocurrencia fenómenos ENOS - AENOS valorados para Cuba. En las columnas de meses los sombreados fuertes corresponden a la presencia de eventos ENOS y los débiles a los AENOS.

Año	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
1970	■	■	■	■								■
1971	■	■	■	■	■	■	■				■	■
1972	■	■					■	■	■	■	■	■
1973	■	■	■	■					■	■	■	■
1974	■	■	■	■	■	■						
1975							■	■	■	■		
1976	■	■	■	■	■					■	■	■
1977												■
1978	■	■	■	■								
1979												
1980												
1981												
1982								■	■	■	■	■
1983	■	■	■	■	■	■	■	■				
1984												
1985												
1986												
1987	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1988	■	■							■	■	■	■
1989	■	■	■	■	■	■						
1990												
1991							■	■	■		■	■
1992	■	■	■	■	■	■	■	■				
1993					■	■	■	■	■			
1994											■	■
1995	■	■	■	■								
1996												
1997							■	■	■	■	■	■
1998	■	■	■	■	■	■	■					
1999	■	■	■	■	■	■				■	■	■
2000	■	■	■	■	■	■	■					
2001					■	■						

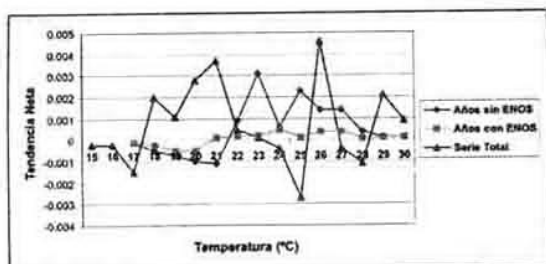


Fig. 14 Gráficos de la matriz T-Hr para años ENOS, no ENOS y la unión de ambos (total). La tendencia indica aumento ó disminución de la humedad relativa del aire de acuerdo con los cambios en la temperatura.

En la figura 15 se plotearon los valores de los términos de la matriz de correlación en los tres casos. En el caso de la serie total el máximo de los valores de correlación se encuentra entre 0,55 y 0,59 con valores distribuidos entre 0,4 y 0,89. En el caso de la serie normal presenta el máximo de ocurrencias entre 0,5 y 0,99 de correlación de los valores que comienzan entre 0,6 y 0,65 pero con algún significado a partir de 0,8 donde se agrupan el 95 % de los casos.

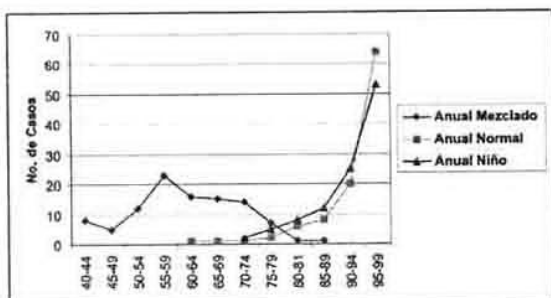


Fig. 15 Cambio en los valores de correlación de las cadenas de Markov y los puntos de los  $a_i$  para las series ENOS, no ENOS y ambas unidas (total).

Lo mismo ocurre para la serie de años ENOS que presenta su máximo entre 0,95 y 0,99 de correlación y representación a partir de 0,7, con algún significado a partir de 0,8 donde se agrupa el 93 % de los casos.

De aquí se desprende que el procedimiento utilizado recoge adecuadamente la señal de la variabilidad interanual si se separan en la serie de datos los años normales y los años ENOS, no haciéndolo con efectividad para la serie mezclada.

## Conclusiones.

De lo anteriormente expuesto se concluye que:

- La metodología desarrollada por Alvarez (2000, 2003) para el cálculo de la tendencia utilizando datos de frecuencia quinquenales es válida también si se utilizan series de datos anuales teniendo en cuenta la aparición del evento ENOS aunque este no es el único evento que induce variabilidad interanual y la metodología podría ser extendida.

- La variabilidad interanual referida a la frecuencia de ocurrencia de determinados valores de T y/o Hr puede ser pronosticada si se posee un pronóstico efectivo del evento ENOS.

- Separando apropiadamente la información correspondiente a los años ENOS y NO ENOS los errores de predicción pueden ser reducidos a menos del 8 % para la variabilidad interanual.

## Recomendaciones.

Se recomienda caracterizar otras variables meteorológicas y sus pares correspondientes utilizando la metodología propuesta.

## Bibliografía.

Alvarez, R. (2000): Nueva metodología para el cálculo de la variabilidad climática. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 8 No. 1 pp

Alvarez, R; D, Pérez (2003): Nueva metodología para el cálculo de la tendencia utilizando valores medios diarios de las variables meteorológicas. Revista Cubana de Meteorología. Vol 10 No. 1 pp 14 – 16.

Lapinel, B. et al. (2003): Causas y pronóstico de la sequía en Cuba. Informe de Resultado. Instituto de Meteorología. CITMA.

### Abstract

Errors that can be made when Alvarez's (2000) methodology, intended to calculate five years periods variability is applied to yearly variability are analyzed. Temperature-hour and moisture-temperature matrixes are discussed. A separation in the data series is introduced for years with ENSO (El Niño Southern Oscillation), with AENSO and normal years and the error introduced by ENSO in the yearly calculation is found. The variability of the moisture-temperature matrix is obtained for the cases of ENSO and no ENSO. It is concluded that the methodology can be utilized for calculation and forecast of yearly variability if a forecast of the onset of ENSO is available with an error less than 8% and that the influence of ENSO is small in the moisture-temperature pair variability.

**Key words:** Variability, ENSO, moisture-temperature pair