

## ANOMALIAS EN LAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES EN LOS OCEANOS PACIFICO Y ATLANTICO Y SU RELACION CON LAS LLUVIAS DE JULIO Y AGOSTO EN COSTA RICA.

**Peter R. Waylen<sup>1</sup> y Marvin E. Quesada Q.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Florida*

*<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Sociales, Universidad de Costa Rica*

*prwaylen@geog.ufl.edu*

### RESUMEN

Se analizan los posibles efectos de las temperaturas superficiales del Atlántico Norte tropical y del Pacífico, región Niño 3.4, sobre los registros mensuales de precipitación de Costa Rica durante los *Veranillos de San Juan* (Julio y Agosto). Las precipitaciones medias totales se comparan bajo cuatro combinaciones de anomalías de las temperaturas superficiales en ambos océanos. Los vientos alisios del noreste generalmente se intensifican durante los *Veranillos*, generando mayor precipitación en la vertiente Caribe y condiciones más secas a sotavento en la vertiente Pacífica. Durante El Niño, este comportamiento se refuerza, mientras que durante La Niña se debilita. El grado de respuesta a aguas más cálidas/frías en el Pacífico es fuertemente modulado por las temperaturas superficiales del Atlántico. Los efectos de aguas cálidas en el Pacífico son prácticamente anulados cuando se combinan con aguas cálidas en el Atlántico. De manera similar, los contrastes entre las respuestas durante La Niña disminuyen cuando el el Atlántico se encuentra también frío. Dado que las temperaturas superficiales del Océano Atlántico generalmente presentan periodos más largos de oscilación (décadas) que las del Pacífico (3-7 años), la interacción entre ambas puede explicar los cambios observados en la respuesta de la precipitación estacional a El Niño-Oscilación del Sur.

### ABSTRACT

Monthly precipitation records in Costa Rica are investigated to determine the possible effects of sea surface temperatures in the tropical North Atlantic and Niño3.4 region of the Pacific during the *Veranillos de San Juan* (July and August). Median rainfall totals under four sets of combined sea surface temperature anomalies in the two oceanics are compared. Generally the northeast trade winds intensify during this time yielding increased rainfall on the Caribbean slope and rainshadow on the Pacific slope. El Niño events strengthen this pattern and La Niñas weaken it. The degree of response to warmer/colder waters in the Pacific is greatly modulated by sea surface temperatures in the Atlantic. The effects of a warmer Pacific are almost totally effaced when combined with a warmer Atlantic. Similarly the contrasts between the responses on either slope noted during La Niña events diminish when the Atlantic is also cooler. As sea surface temperatures of the Atlantic generally display larger time scales of oscillation (decadal) than those of the Pacific (3-7 years), their mutual interaction may explain the observed changes in the nature of the seasonal rainfall response to the El Niño-Southern Oscillation.

## 1. INTRODUCCION

Recientemente, se ha revivido el interés por investigar los factores que gobiernan la variabilidad de la precipitación en Centroamérica y en el Caribe (Enfield y Alfaro, 1999; Magaña y otros, 1999; Giannini y otros, 2000). Esto se suma al conocimiento de otras publicaciones anteriores de Hastenrath (1975), Ropelewski y Halpert (1989); Waylen y otros (1996), los cuales detallan los efectos regionales del Fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur. Magaña y otros (1999) describen la extensión espacial de la única recesión de lluvias a mitad de año (Julio y Agosto) de la región, la cual es conocida ampliamente como el *Veranillo de San Juan y/o la Canícula*. Estos investigadores propusieron una hipótesis acerca de su ocurrencia y lo atribuyen a la intensificación de los Vientos Alisios sobre el Mar Caribe. En este se producen ciertas anomalías negativas que evitan la formación de una convección profunda sobre las aguas cálidas de la Costa Pacífica del Istmo.

Giannini y otros (2000) examinaron la influencia de las presiones atmosféricas y temperaturas sobre el Océano Tropical Atlántico Norte y el Océano Pacífico Este (Región El Niño 3) sobre los totales de precipitación que ocurren en la Vertiente Caribe de Centroamérica. Cuando existe una fuerte gradiente de presión atmosférica a través del Istmo Centroamericano, se intensifican los Vientos Alisios, ocasionando un periodo seco más extenso que el promedio de la estación seca en Costa Rica y el Norte de Sur América, el cual es particularmente pronunciado durante la fase madura del El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

Enfield y Alfaro (1999) también visualizaron el vínculo entre las condiciones océánico-atmosféricas en las dos vertientes, sugiriendo que este podría ser un factor que contribuye con vaga asociación entre el ENOS y la precipitación en la región. Ropelewski y Halpert (1989) concluyeron que el efecto mayor de las temperaturas superficiales del mar puede ser identificado al inicio y al final de la estación lluviosa de la región central sur de la América Central (Costa Rica y Panamá). Esto se demostró en un análisis de las crecidas de cuatro ríos a lo largo de la Costa Pacífica de Costa Rica (Waylen y Laporte, 1999). Sin embargo, dada la limitada cantidad de datos de lluvia diaria y el uso de datos derivados de la cuadricula 2.5, se muestra una falta de detalle geográfico en los resultados de Enfield y Alfaro (1999) y Giannini y otros (2000).

Un análisis de los registros de lluvia de Costa Rica (Waylen y otros, 1996), indican que (a) El periodo de recesión de lluvias a mitad de año puede ser uno de los más sensibles a los efectos de ENOS y (b) Se pueden dar marcadas diferencias en la recesión de lluvias de ese periodo a través de todo el Istmo Centroamericano.

En esta investigación se analizan los datos de lluvia mensual durante el periodo de recesión de lluvias a mitad del año. Esto se hace con varias estaciones meteorológicas a través de todo Costa Rica con el fin de verificar: (a) Cualquier cambio significativo en los totales de lluvia mensual durante la recesión a mitad de año y su asociación con las anomalías de la temperatura superficial de los Océanos Atlántico Tropical Norte y el Pacífico Central Ecuatorial donde se ubica la región 3.4 de El Niño, y (b) Cualquier patrón geográfico que podría existir en esta asociación.

## 2. DATOS UTILIZADOS

La información de la precipitación mensual de Costa Rica fue obtenida del Instituto Meteorológico Nacional (MINAE, 1988) y se ha actualizado por medio de varias fuentes. Las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) desde 1950 hasta 1999 se analizaron para el Atlántico Tropical Norte (5- 20°N, 30-60°W) y la Región de El Niño 3.4 (5°N-5°S, 120-170°W). Estos se muestran en la figura 1 y fueron obtenidos de la NOAA en [www.nmic.noaa.gov/data/indices/index.html](http://www.nmic.noaa.gov/data/indices/index.html). En el presente estudio solo se tomaron en cuenta los registros meteorológicos que poseen por lo menos veinte años completos de precipitación mensual durante el periodo 1950 a 1999. La figura 1 muestra las estaciones a través de Costa Rica, con la excepción de la región Noreste y Central Este.

De acuerdo con la definición de los veranillos y las canículas en la región centroamericana (Hastenrath, 1967, 1976; George y otros, 1998 y Magaña y otros, 1999), las lluvias de los meses de Julio y Agosto son extraídas en cada estación y, una serie bimensual con Julio y Agosto juntos es creada. A cada una de estas series se les calculó sus promedios. Con el propósito de simplificar y maximizar el tamaño de los datos disponibles cada serie es subdividida en cuatro categorías dependiendo de las anomalías de las TSM (ya sean estas positivas o negativas) en los dos océanos durante correspondiente mes o estación.

### 3. ANALISIS

Para visualizar y permitir una comparación geográfica, de los promedios de cada una de las series temporales se comparan con cada una de las condiciones oceánicas citadas. Estas son expresadas como una desviación normal estándar y se relacionan con los promedios de toda la serie anual de las estaciones (Fig. 2). Se hizo comparaciones estadísticas de las distribuciones mensuales y estacionales de precipitación total bajo cada una de las condiciones, utilizando la prueba *Mann-Whitney*. Se prefirió usar esta prueba en lugar del *t-test* que normalmente se utiliza en este tipo de estudios. Como se puede observar en la figura 2 hay una gran variabilidad espacial, tanto en los datos de las desviaciones estándar como en los datos de los promedios de la precipitación mensual y estacional, por lo que se asume que la distribución normal no es particularmente representativa de la región seca del noroeste del país.

La prueba *Mann Whithey* compara las “ubicaciones” de dos series de datos, por medio de la clasificación de ambas series, sumando los valores de las observaciones asociadas con uno de los registros de datos y comparando esta suma con la suma de la distribución esperada, en el caso que los dos registros de datos provengan de una misma población. Dos pruebas de cola (“localizaciones” más de, y “localizaciones” menos de) fueron realizadas para cada estación para comparar los resultados de las lluvias bajo combinaciones de condiciones oceánicas. Esto se hace con el fin de determinar si una condición es más húmeda o más seca que la otra. Los resultados de las pruebas fueron reportados a niveles de confianza del 0.05 y 0.10. Dadas las cuatro series de condiciones oceánicas, es posible hacer seis comparaciones estadísticas entre las condiciones citadas. Debido a las diversas fechas de iniciacion y termino de las series observadas, el número de observaciones de cada subregistro esta en condiciones oceánicas, tiende a variar de una estación a otra.

Cuando el tamaño de las muestras comparadas en los dos subregistros ( $n_1 + n_2$ ) excede 10, una aproximación normal podría ser empleada en el calculo de la prueba estadística (Burt y Barber, 1996). De otra forma, la distribución de muestras contenida en textos especializados como el de Conover (1980) se puede utilizar.

### 4. RESULTADOS

La figura 3 muestra el promedio de precipitación estacional de Julio Agosto (JA) bajo cada registro combinado de anomalías de la temperatura superficial del mar. Los datos de precipitación se expresan como desviaciones normal estándar con respecto a los promedios y desviaciones estandards (Fig. 2). Patrones similares se establecen para los totales de lluvia de los meses de Julio y Agosto.

Al analizar los datos se nota que solo con la excepción de los años en los cuales la región de El Niño 3.4 y el Atlántico Tropical Norte experimenta temperaturas superficiales arriba de lo normal, se produce una clara y marcada señal inversa en la respuesta de las lluvias en los sectores Este y Oeste del país. El límite entre ambas regiones lo indica la cordillera principal que atraviesa el país desde el sector Noroeste hasta el Sudeste.

A pesar de que la correspondencia entre las anomalías (positivas y negativas) de la temperatura definidas en este estudio y los eventos de El Niño o La Niña no es perfecta, se advierte que en el sector Pacífico predominan las sequías, mientras que el sector Caribe se da un incremento de las precipitaciones durante el evento de El Niño (y una señal opuesta durante el evento de La Niña), como lo señala el estudio de Waylen y otros (1996). Sin embargo, la intensidad de esas señales aparentemente se encuentra modulada por las temperaturas del Atlántico Tropical Norte. La señal se hace más leve cuando ambas regiones oceánicas muestran signos similares en las anomalías, y se intensifican cuando éstas se desarrollan en direcciones opuestas. Es así, por ejemplo, que la reducción de las lluvias a lo largo de la Costa Pacífica se encuentra asociada con la fase de aguas cálidas del ENOS. Se manifiesta una merma en los valores de la Desviación Normal Estándar de -0.75 o -1.00 cuando el Océano Atlántico se encuentra frío, y valores de -0.25 o -0.50 cuando el Océano Atlántico es cálido. La reducción de las lluvias también pareciera darse ampliamente en el país cuando ambos océanos están calientes, lo que contrasta con excesivas lluvias en la costa caribe cuando la fase cálida del ENOS coincide con un Atlántico frío. Igualmente, señales opuestas en las costas durante la fase fría del ENOS parecieran ser más fuertes cuando el Atlántico esta cálido y se manifiestan aguas más frías de lo normal en la región 3.4 de El Niño.

En la figura 4 se ofrece un resumen gráfico de las comparaciones estadísticas cruzadas de la precipitación total, mensual como estacional, para las estaciones meteorológicas con cada una de las condiciones oceánicas. Los porcentajes de las estaciones reportan valores con mayor significación estadística bajo la prueba de *Mann Whitney* cuando es aplicada a los totales de precipitación, independientemente de su aplicación a valores mensuales individuales o a totales estacionales.

Los promedios totales estacionales generalmente reportan porcentajes ligeramente superiores, que aquellos para cada uno de los dos meses en estudio. Las tres comparaciones de las anomalías de las temperaturas superficiales oceánicas combinadas que parecen tener un efecto relevante sobre la precipitación en la mayoría de las estaciones (40% o más a un nivel de confianza del 0.05) son: (1) Pacífico cálido y un Atlántico frío con un Pacífico frío y un Atlántico frío. La mayoría de las estaciones registraron menos precipitación en la primera condición, (4) Pacífico frío y un Atlántico cálido con un Pacífico cálido y un Atlántico frío y (5) Pacífico cálido y un Atlántico cálido con un Pacífico cálido con un Atlántico frío; La mayoría de las estaciones meteorológicas registraron valores superiores de precipitación bajo las primeras condiciones. Menos de un 10% de las estaciones registraron cambios significativos bajo las comparaciones 2 y 6, y cerca de un 25% en la comparación 3.

Considerando los resultados de los niveles de significación, la localización geográfica de las estaciones que revelan condiciones más húmedas o más secas en las comparaciones 1, 4 y 5, se ilustra en la figura 5. La comparación ilustra las diferencias en la precipitación entre la fase fría de ENOS y la fase cálida cuando el Atlántico está frío y muestra las diferencias en las condiciones del ENOS durante los veranillos que son precisamente más pronunciados cuando el Atlántico es más frío de lo normal. Las estaciones meteorológicas ubicadas en la vertiente Pacífica reciben más precipitación que las de la vertiente Caribe, lo cual se visualiza claramente a partir de la línea de crestas de la cordillera que atraviesa el país.

En la figura 5c la comparación 5 indica las diferencias que las temperaturas del Atlántico Tropical Norte imponen sobre la precipitación de Costa Rica durante la fase cálida del evento de ENOS. Es así como un Atlántico

frío intensifica las sequías a lo largo de la costa Pacífica y produce excesivas lluvias en el sector Caribeño. Por el contrario, las temperaturas del Atlántico Tropical Norte parecieran tener efectos considerables sobre el comportamiento de las lluvias durante la fase fría del ENOS en pocas estaciones (comparación 2). En la figura 5b se ilustra la comparación 4 en la que se observa un patrón similar de diferencias en la precipitación estacional entre la fase cálida de ENOS con un Atlántico frío, y la fase fría de ENOS con un Atlántico cálido.

## 5. CONCLUSIONES

Los efectos regionales de ENOS sobre la precipitación durante los llamados períodos de “veranillos, canículas” o recesión de lluvias a mediados de año en la región centroamericana parecieran estar directamente influenciadas por las temperaturas superficiales del Atlántico Tropical Norte. En los meses cuando ocurre esta ligera recesión de las lluvias se dan días con intensos vientos Alisios que traen consigo lluvias sobre la costa Caribe y crean sequedad sobre la Pacífica. El mecanismo físico parece ser más complejo que un simple efecto de sotavento (Magaña y otros, 1999). Waylen y otros (1996) encontraron que este patrón se fortalece durante las fases cálidas del ENOS y disminuye durante las fases frías.

Esta investigación indica que esos patrones son modificados más aún por las condiciones anómalas de las temperaturas superficiales del Océano Atlántico Norte. Las manifestaciones de sequedad que se registran en la vertiente Pacífica de Costa Rica durante la fase cálida de ENOS es menos severa cuando las aguas del Océano Atlántico son cálidas, aunque la reducción de las lluvias se podrían extender sobre todo el país.

Igualmente, los patrones de lluvias excesivas sobre el sector Pacífico y sequedad en el sector Caribeño del país, están asociados con la fase fría del ENOS, cual se debilita durante los períodos de un Atlántico más frío. El hecho de que haya temperaturas más frías en el Atlántico significa que ha habido un fortalecimiento del anticiclón del Atlántico Norte, el cual influye directamente sobre los vientos Alisios.

Cuando se dan temperaturas más altas de lo usual (presiones atmosféricas más bajas) en el Pacífico Este Ecuatorial, el gradiente de presión a través del istmo de

Centro América se incrementa y se nota con más claridad el efecto orográfico que ejerce la cordillera que atraviesa el país. Cuando las aguas del Atlántico están más calientes de lo normal, se da una reducción en la velocidad de los Alisios y por consiguiente disminuyen las lluvias sobre la mayor parte del país.

Durante la fase fría del ENOS la presión atmosférica es más alta sobre el Pacífico Ecuatorial, lo que conlleva a que se reduzca el gradiente de presión a través del istmo, lo que a su vez merma el efecto de abrigo o sotavento que ejerce la cordillera, antes mencionada. Este patrón está íntegramente relacionado con temperaturas superiores a las normales (bajas presiones atmosféricas) en el Atlántico Norte.

Los totales de precipitación estacional parecen ser ligeramente más sensibles (algunas estaciones meteorológicas muestran cambios significativos) a los cambios en las temperaturas superficiales del océano antes que en cada uno de los meses individuales. Esto es posible ya los veranillos no tienen una fecha exacta de comienzo y terminación, y sus efectos pueden manifestarse en la vertiente Pacífica de Costa Rica ya sea en Julio, en Agosto, o en ambos meses.

Por lo tanto, la interrelación de la temperatura, la presión y los campos de vientos en ambos océanos tiene aparentemente un efecto significativo sobre los totales de precipitación durante este período del año. Además, parecieran estar sujetos a una considerable variabilidad interanual a lo largo y ancho del país, no solamente al comienzo del período lluvioso. El papel que juega el relieve es crucial para que se produzcan los patrones observados y estos no podrían ser identificables en los largos datos de precipitación de las estaciones meteorológicas estudiadas o no podrían ser representativas de escalas espaciales considerablemente grandes. Las recesiones de lluvias o veranillos a mediados del año ocurren regionalmente en la vertiente Pacífica desde el sur de México hasta Panamá. Es por ello que las observaciones presentadas en esta investigación tienen una importancia regional en varias esferas, sea en el sector social, económico o el ambiental.

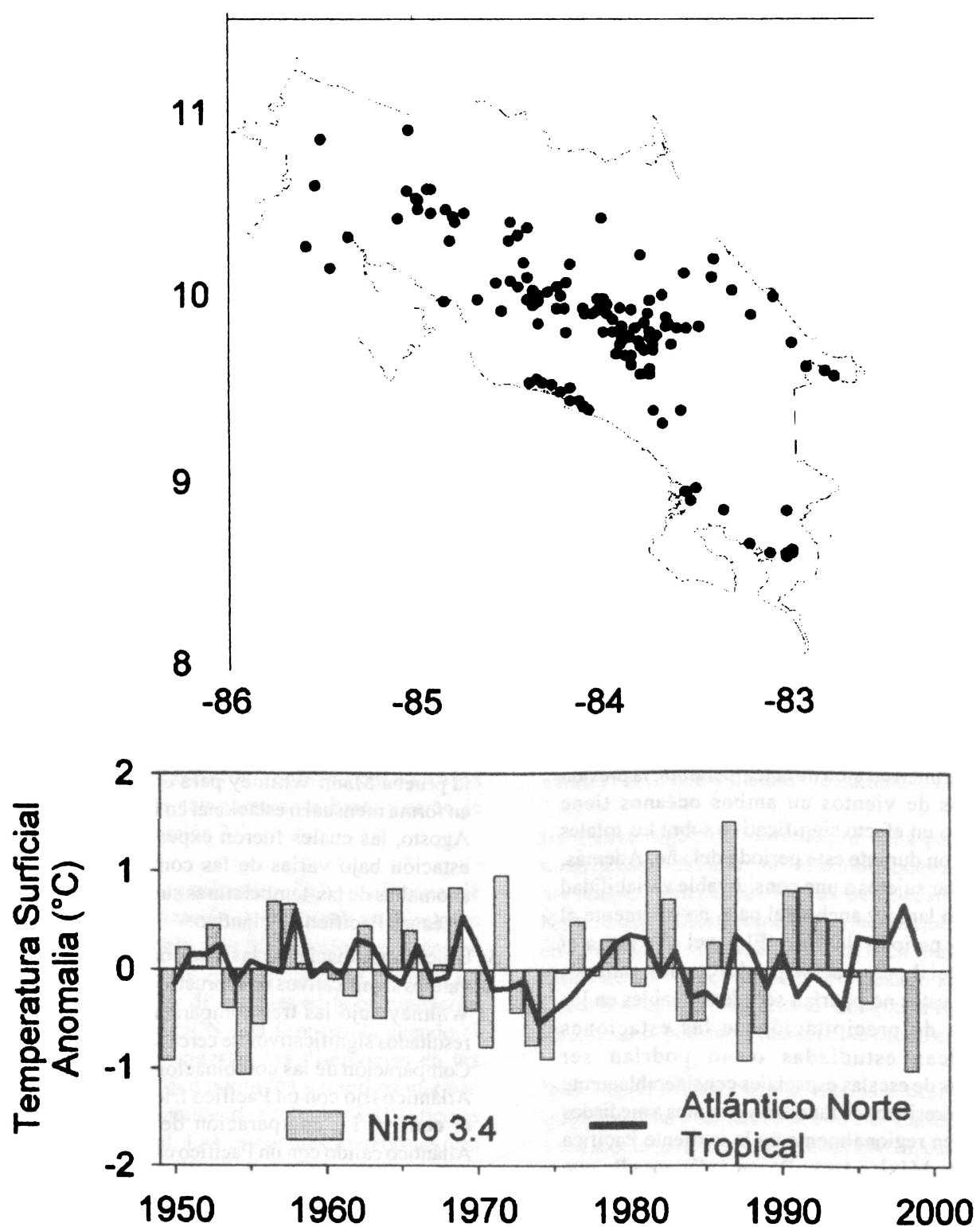
## 6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por el proyecto de investigación: ISPIII-022 del Instituto

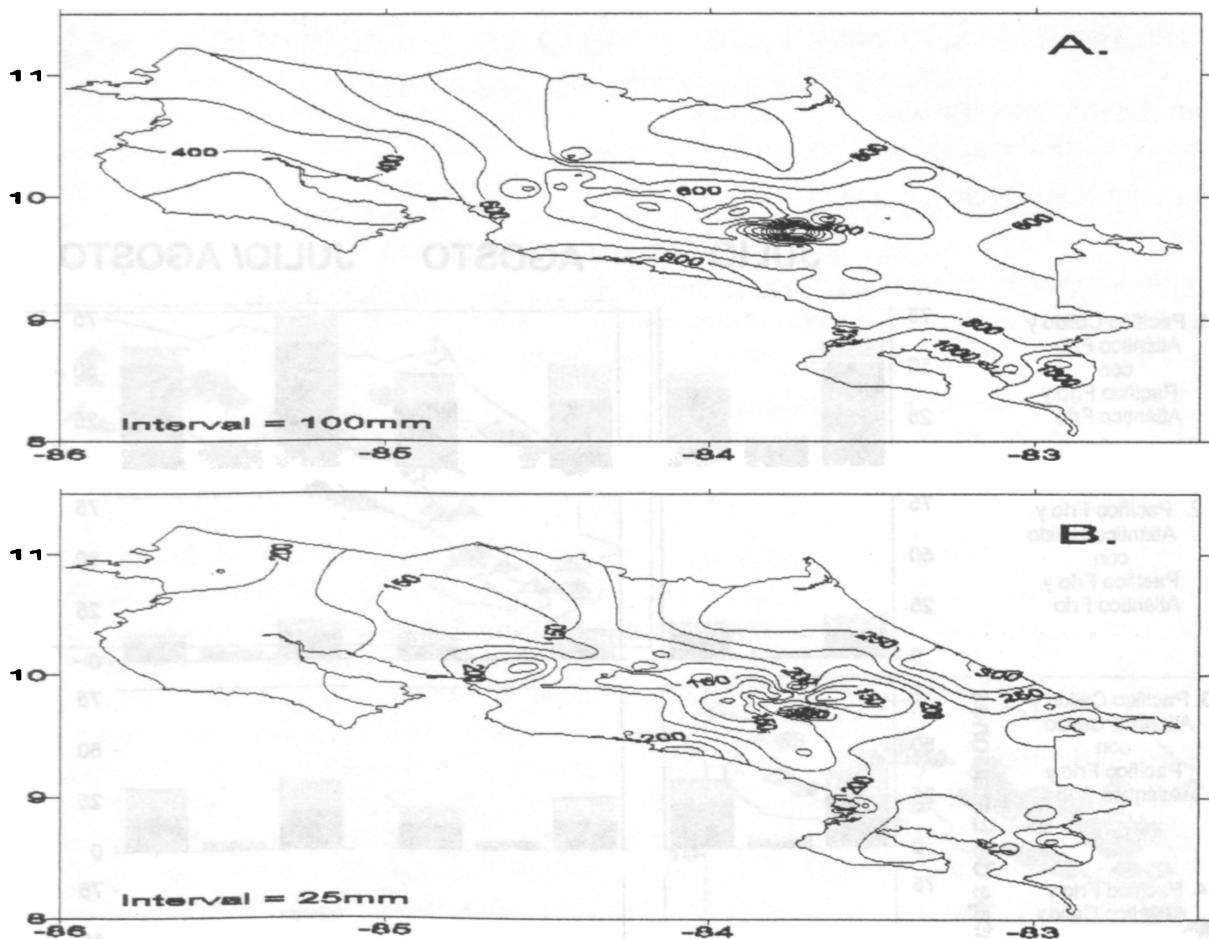
Interamericano sobre el cambio climático. Nuestro colega, César Caviedes, leyó el manuscrito y hizo muchas sugerencias y comentarios valiosos.

## 7. LISTA DE FIGURAS

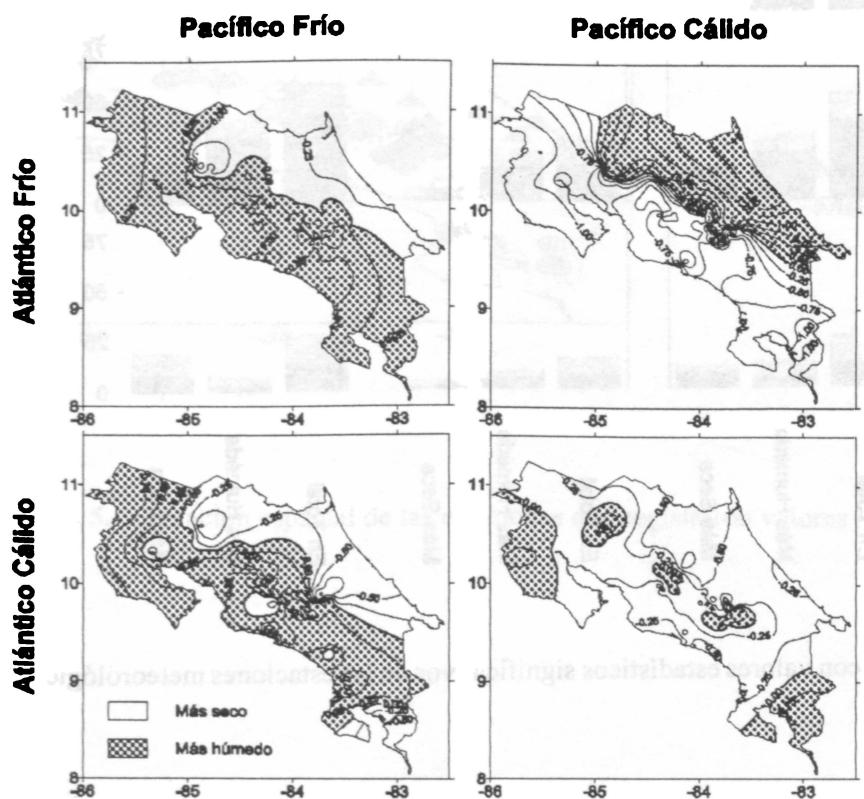
1. Localización de las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio. Serie temporal de las temperaturas superficiales del mar en la región 3.4 del evento El Niño en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico Norte, 1950-1999.
2. A: Promedio mensual de precipitación durante los meses de Julio y Agosto. B: La desviación estándar de los totales de lluvia promediados durante los meses de Julio y Agosto. Ambas figuras son interpoladas de las estaciones mostradas en la figura 1.
3. Totales de precipitación promedio mensual durante el período estacional de Julio y Agosto bajo las cuatro condiciones de anomalías de las temperaturas superficiales del océano. Todas las observaciones son expresadas como desviaciones normal estándar, usando los promedios y las desviaciones estándar de todas las series (figura 2) para cada estación.
4. Porcentajes de los registros con valores estadísticos significativos de las estaciones meteorológicas usando la prueba Mann Whitney para comparar las lluvias en forma mensual o estacional en los meses de Julio y Agosto, las cuales fueron experimentadas en cada estación bajo varias de las combinaciones de las anomalías de las temperaturas superficiales entre los Océanos Pacífico y Atlántico.
5. Ubicación espacial de las estaciones que registraron valores significativos en la prueba estadística de Mann Whitney bajo las tres comparaciones que tuvieron resultados significativos de cerca de un 40%. **Arriba:** Comparación de las combinaciones Pacífico cálido/Atlántico frío con un Pacífico frío/Atlántico frío. **En el centro:** La comparación de un Pacífico frío/Atlántico cálido con un Pacífico cálido/Atlántico frío. **Abajo:** La comparación de un Pacífico cálido/Atlántico frío con un Pacífico cálido/Atlántico cálido.



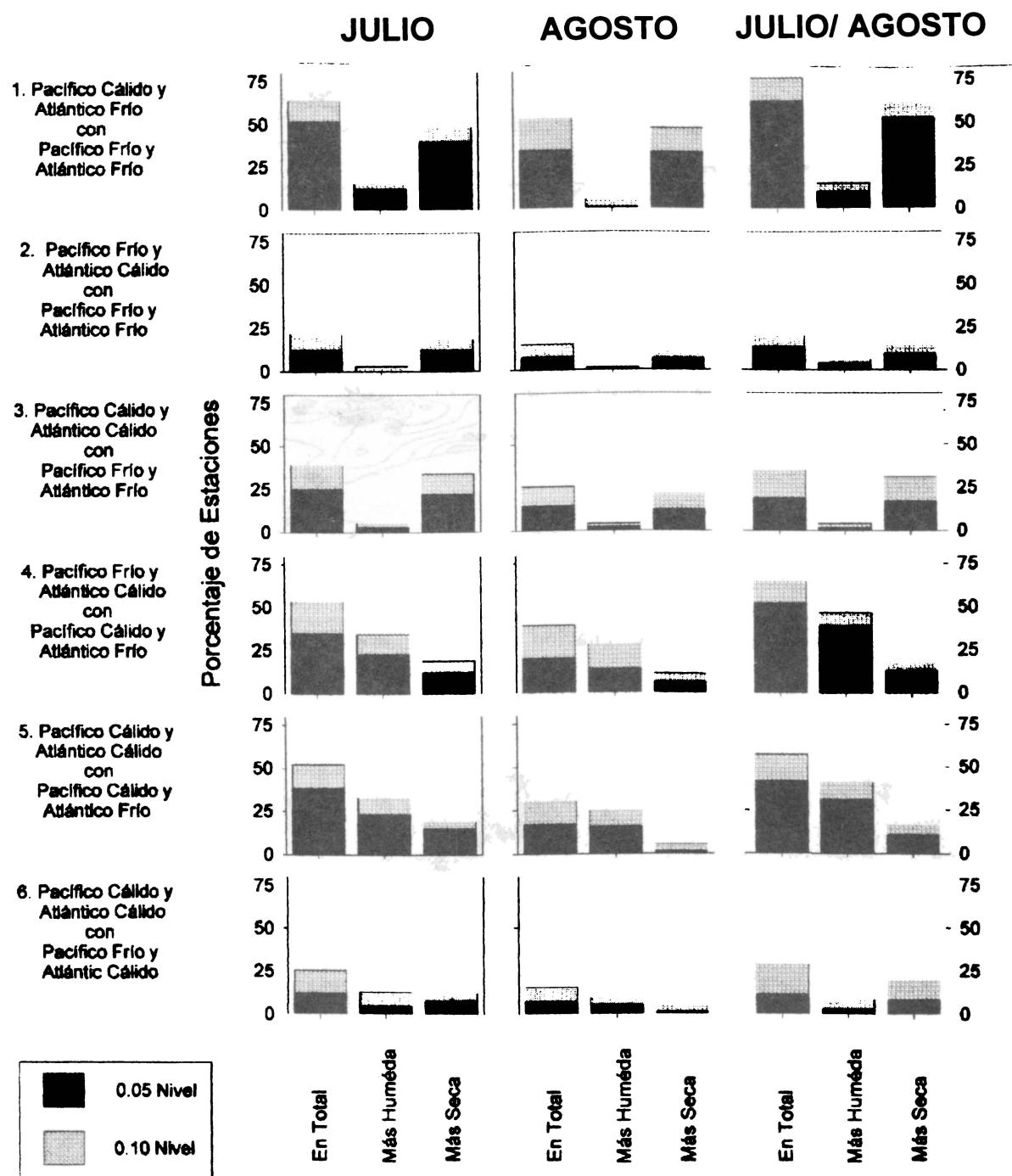
**FIGURA 1.** Localización de las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio



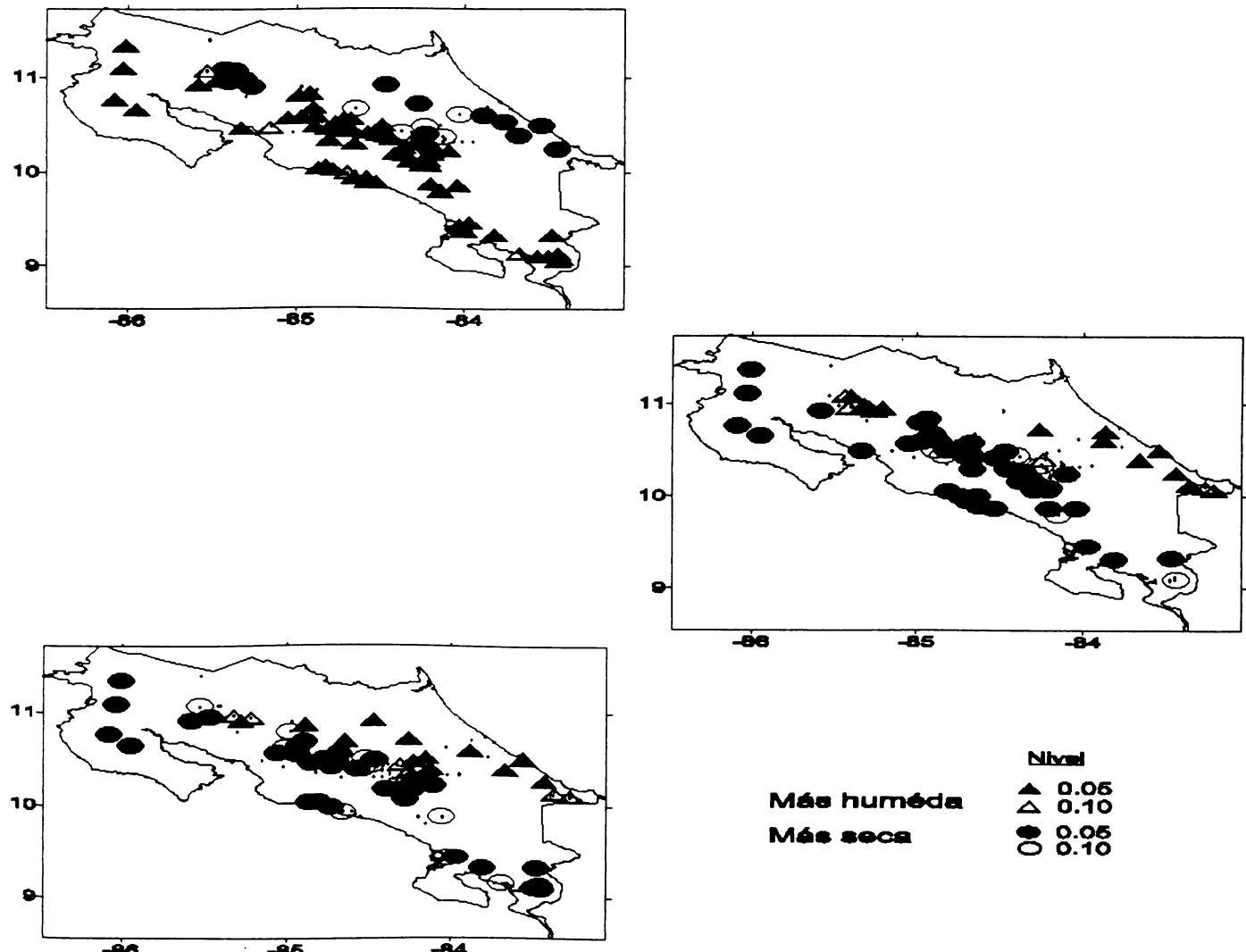
**FIGURA 2.** A: Promedio mensual de precipitación. B: Desviación estandar de los totales de lluvia



**FIGURA 3.** Totales de precipitación promedio mensual durante el período de julio a agosto



**FIGURA 4.** Porcentajes de los registros con valores estadísticos significativos de las estaciones meteorológicas.



**FIGURA 5.** Ubicación espacial de las estaciones que registraron valores significativos en la prueba estadística de Mann Whitney

## 8. REFERENCIAS

- Burt, J.E., Barber, G.M. 1996. Elementary Statistics for Geographers, Guilford Publications, New York, 640p.
- Conover, W.J. 1980. Practical Nonparametric Statistics, Wiley, New York.
- Enfield, D.B., y Alfaro E.J., 1999. The Dependence of Caribbean rainfall on the Interaction of the Tropical Atlantic and Pacific Oceans. En: *Journal of Climate*, 12, 2093-2103.
- George, R.K., Waylen, P., y Laporte, S., 1998. Interannual Variability of Annual Streamflow and the Southern Oscillation in Costa Rica. En: *Hydrological Sciences Journal*, 43, 409-424.
- Giannini, A., Kushnir, Y., y Cane, M.A. Interannual Variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. En: *Journal of Climate*, 13, 297-311.
- Hastenrath, S. 1967. Rainfall Distribution and Regime in Central America. En: *Archiv fur Meteorologie, Geophysik, und Bioclimatologie, Serie B.*, 15, 201-241.
- Hastenrath, S. 1976. Variations in low-altitude Circulation and Extreme Events in the Tropical Americas, En. *Journal of Atmospheric Sciences*, 25, 2222-2231.
- Magaña, V., Amador, J.A., Medina, S. 1999. The Midsummer Drought over Mexico and Central America. En: *Journal of Climate*, 12, 1577-1588.
- Minae. 1988. Instituto Meteorológico Nacional. Año del Centenario, 1888-1988: Catastro de las Series de Precipitaciones Medidas en Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Ropelewski, C.F., y Halpert, M.S., 1987. Global and Regional Precipitation Patterns Associated with the El Niño\Southern Oscillation. En: *Monthly Weather Review*, 115, 1606-1626.
- Waylen P.R., Caviedes, C.N., y Quesada, M.E., 1996. Interannual Variability of Monthly Precipitation in Costa Rica. En: *Journal of Climate*, 9, 2606-2613.
- Waylen P.R., y Laporte, S., Flooding and the El Niño-Southern Oscillation Phenomenon along the Pacific