

EVIDENCIAS DE LA ASOCIACION ENTRE BROTES EPIDEMICOS DE MALARIA EN COLOMBIA Y EL FENOMENO EL NIÑO-OSCILACION DEL SUR

por

Germán Poveda J.*, William Rojas M.**

Resumen

Poveda, G. & W. Rojas: Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(81): 421-429, 1997. ISSN: 0370-3908.

Se presenta un análisis de los casos de malaria registrados en Colombia entre 1959-1994. Se concluye que: (1) durante los años en que se presenta la ocurrencia del fenómeno de El Niño se incrementan los casos de malaria en Colombia, con coeficiente de correlación de 0.6 entre las series de malaria y las temperaturas superficiales del Océano Pacífico en la región Niño-4 (5°N-5°S, 160°E-150°O); y (2) se observa una dramática tendencia creciente de los casos registrados en el período. Estas correlaciones estadísticamente significativas pueden ser usadas para desarrollar Sistemas de Alerta Temprana (SAT) de las condiciones climáticas conducentes a epidemias y brotes de enfermedades y demuestran que las buenas posibilidades de predicción del fenómeno ENSO, con las que ya cuenta la comunidad científica internacional, y las predicciones del clima y la hidrología de Colombia, permitirán establecer programas de prevención, mitigación y control de los casos de malaria, dengue clásico y hemorrágico, cólera, leishmaniasis, fiebre amarilla, y otros tipos de enfermedades relacionadas con la variabilidad climática.

Abstract

The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon is the main forcing mechanism of climatic variability in tropical South America from seasons to decades. Colombia experience below normal dry periods and above normal air temperatures during the warm phase of ENSO (El Niño), and the converse for the cold phase (La Niña). We analyze records of the Annual Parasitary Incidence (A.P. I.) index of malaria in Colombia (*Plasmodium Vivax* and *Plasmodium Falciparum*) for the 1959-1994 period. We conclude that: (1) during the occurrence of the El Niño event there is a remarkable increase in the number of cases of malaria in Colombia, with a correlation coefficient of 0.62 (statistically significant at the 95% level) between the malaria series and the sea surface temperature series at the Niño-4 region (5°N-5°S, 160°E-150°O); and (2) there is an increasing trend in the number of cases for the aforementioned period. These

* Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

** Corporación para Investigaciones Biológicas, CIB, Medellín, Colombia.

statistically related correlations and modelling results may be used for developing Health Early Warning Systems (HEWS) of climate conditions conducive to outbreaks, facilitating early, environmentally-sound public health interventions to control and mitigate the incidence of diseases related with climate variability.

1. Introducción

La (re)emergencia, y los brotes epidémicos de diversas enfermedades depende de múltiples factores ambientales, demográficos, socio-económicos, migracionales, presupuestales, etc. Por mucho tiempo se ha reconocido la fuerte asociación existente entre diversas enfermedades y la variabilidad climática, principalmente a través de su influencia sobre los ecosistemas terrestres. El principal mecanismo de modulación de la variabilidad climática a diversas escalas de tiempo que van desde la escala mensual hasta la intradecadal, es el llamado fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), un evento natural que se da como resultado de la interacción entre el océano y la atmósfera en la región del Océano Pacífico ecuatorial. El fenómeno ENSO produce fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global, y sus efectos climáticos tienen dramáticas implicaciones socioeconómicas y ambientales. Es así que durante El Niño se producen sequías en África, en la parte tropical de América del Sur, en Australia, inundaciones en el oeste de Norte América, en China, Ecuador y la cuenca del río Paraná y el sur de Sur América, entre otros.

Debido a que el clima afecta las temperaturas, la humedad del aire y del suelo, y los regímenes de lluvias, la salud humana es afectada a través de tres mecanismos ligados entre sí (*Epstein y Stewart, 1995*): (1) distribución y calidad de las aguas superficiales, (2) ciclos de vida de los vectores de enfermedades y relaciones huésped/vector, y (3) dinámica de los ecosistemas de las relaciones predador/presa las cuales controlan las poblaciones de vectores de enfermedades (ver *Unninayar y Sprigg, 1995*).

Este trabajo se distribuye de la siguiente manera. En la sección 2 se hace una revisión breve del fenómeno ENSO y de su influencia sobre la hidroclimatología de Colombia. En la sección 3 se discuten los factores climáticos asociados a las epidemias de malaria. En la sección 4 se presentan las evidencias estadísticas de la relación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia, y el fenómeno ENSO, para el período 1959-1994. En el numeral 5 se discute sobre la predecibilidad del fenómeno ENSO y de la hidro-climatología de Colombia, y de como estos proporcionan un sistema de alerta temprana de la intensificación de la malaria en Colom-

bia, con consecuencias enormes para establecer campañas de prevención y control.

2. Características del ENSO y su influencia sobre Colombia

El ENSO es el conjunto más poderoso de variaciones atmosféricas y oceánicas en escalas de tiempo de meses a varios años; escalas de tiempo con los impactos más fuertes sobre las decisiones humanas y sobre las condiciones socio-económicas de los habitantes del planeta. El ENSO causa enormes perturbaciones en la circulación atmosférica y oceánica del planeta, afectando el "tiempo" (corto plazo: días) y el clima (mediano y largo plazo: meses a años). Los eventos extremos asociados que incluyen inundaciones y sequías tienen repercusiones socioeconómicas tales como: alteración de ecosistemas, inundaciones y avalanchas, pérdidas por productividad agrícola y pesquera y por déficits en la generación de energía eléctrica, daños a la infraestructura, racionamiento de alimentos, perturbaciones ecológicas y epidemias de enfermedades, entre otros.

La influencia del ENSO sobre la hidrología global se manifiesta en escalas de tiempo que van desde varios meses hasta décadas (ver *Glantz et al., 1991; Diaz y Markgraf, 1993*). El fenómeno ENSO tiene una componente oceánica, El Niño (fase de temperaturas cálidas) y La Niña (temperaturas frías). Y la componente atmosférica es la Oscilación del Sur, una variación coherente de la masa y las presiones atmosféricas entre el oeste y el este del Pacífico ecuatorial. Generalmente, un centro de alta presión se localiza cerca de Tahiti (18 S, 150 O) mientras que un centro de baja presión se localiza en Indonesia y el norte de Australia cerca de Darwin (12 S, 131 E). Este gradiente de presiones atmosféricas es comúnmente representado por el Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus iniciales en idioma inglés), definido como la diferencia entre las presiones atmosféricas estandarizadas de ambos sitios.

Algunas regiones experimentan efectos directos, mientras que otras son afectadas a través de teleconexiones atmosféricas. El ENSO es un fenómeno cuasi-periódico con una recurrencia promedia de cuatro años, pero que varía entre dos y siete años (*Trenberth, 1991*). Para discriminar los años de El Niño y La Niña se usa (general-

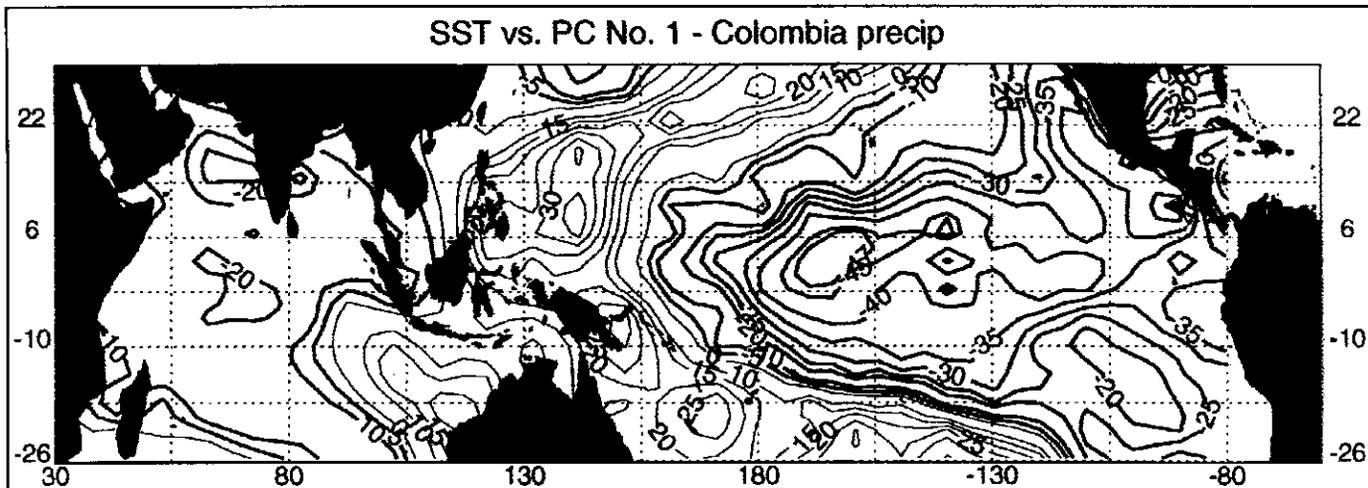
mente) la clasificación dada por *Kiladis y Díaz* (1989), para el siglo XX. Años de El Niño: 1902, 1904, 1911, 1913, 1918, 1923, 1925, 1930, 1932, 1939, 1951, 1953, 1957-1958, 1963, 1969, 1972, 1976-1977, 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992, 1997-1998. Años de La Niña: 1903, 1906, 1908, 1916, 1920, 1924, 1928, 1931, 1938, 1942, 1949, 1954, 1964, 1970-1971, 1973, 1975, 1988 y 1995-1996.

En general, existe buena coherencia entre las anomalías hidrológicas en la parte tropical de América del Sur (Colombia, Venezuela, Guyana y la cuenca del Amazonas) y las dos fases del ENSO. Con ciertas diferencias en el tiempo y en la amplitud, estas regiones exhiben anomalías negativas en lluvias y caudales durante El Niño, y lo contrario durante La Niña. Durante El Niño se da un desplazamiento del centro de convección hacia el suroeste de su posición normal, dentro de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT), sobre el trópico Americano (*Pulwarty y Díaz, 1993*). *Pulwarty* (1994) reporta que sobre la zona norte de Sudamérica durante los eventos cálidos del ENSO el contraste térmico entre el mar y la tierra aumenta gradualmente de 0.5 °C en abril del año (0) hasta un máximo de 1.25 °C durante diciembre y luego decrece rápidamente hasta cero durante febrero del año (+1). Durante los eventos fríos tal contraste se mantiene (-0.75 °C) durante la mayor parte del año y se normaliza de nuevo durante la época de febrero. Adicionalmente, es necesario mencionar, como factor importante en las anomalías hidrológicas sobre el continente, la misma retroalimentación positiva que los extremos hidrológicos tienen sobre sí mismos. Condicio-

nes de sequía impuestas por un forzamiento de gran escala producen disminución de lluvia y por tanto disminución de la humedad del suelo, disminución de la evapotranspiración, una diferente distribución de los calores sensible y latente, y por tanto menor disponibilidad de humedad para la convección atmosférica que produzca la precipitación. El cuadro opuesto es válido para las condiciones de alta precipitación. La fuerte asociación entre los períodos secos en Colombia con El Niño, así como de los períodos de lluvias excesivas con La Niña ha sido demostrada en los trabajos de *Poveda y Mesa* (1993); *Poveda* (1994); *Mesa et al.* (1994); *Poveda y Mesa* (1995), *Poveda y Mesa* (1996), y *Poveda y Mesa* (1997).

En la figura 1 se presenta el diagrama de correlaciones entre las temperaturas superficiales del mar en los Océanos Pacífico e Indico y la serie de la primera Componente Principal de las precipitaciones en Colombia. Esta última se define como la proyección temporal de la evolución del campo de precipitación de 88 estaciones de medición de lluvia mensual en Colombia. La localización de las estaciones con las cuales se efectuó el análisis de Componentes Principales se muestra en la figura 2. Los detalles pueden consultarse en el trabajo de *Poveda* (1994). En la figura 1 se observan correlaciones altas (negativas) con el promedio de las temperaturas del mar en las llamadas regiones Niño-3 (5°N-5°S, 150°O-90°O) y Niño-4 (5°N-5°S, 160°E-150°O) y en la región del monzón hindo-africano. Los mecanismos físicos de la circulación que son responsables de la influencia del ENSO sobre la hidro-climatología de Colombia, se discuten en el trabajo de *Poveda y Mesa* (1997).

Figura 1. Diagrama de iso-correlaciones entre las temperaturas superficiales del mar en los Océanos Pacífico e Indico y la serie de la primera Componente Principal de las precipitaciones en Colombia. Nótese las correlaciones negativas estadísticamente significativas altas en las regiones Niño-4 y Niño-3.



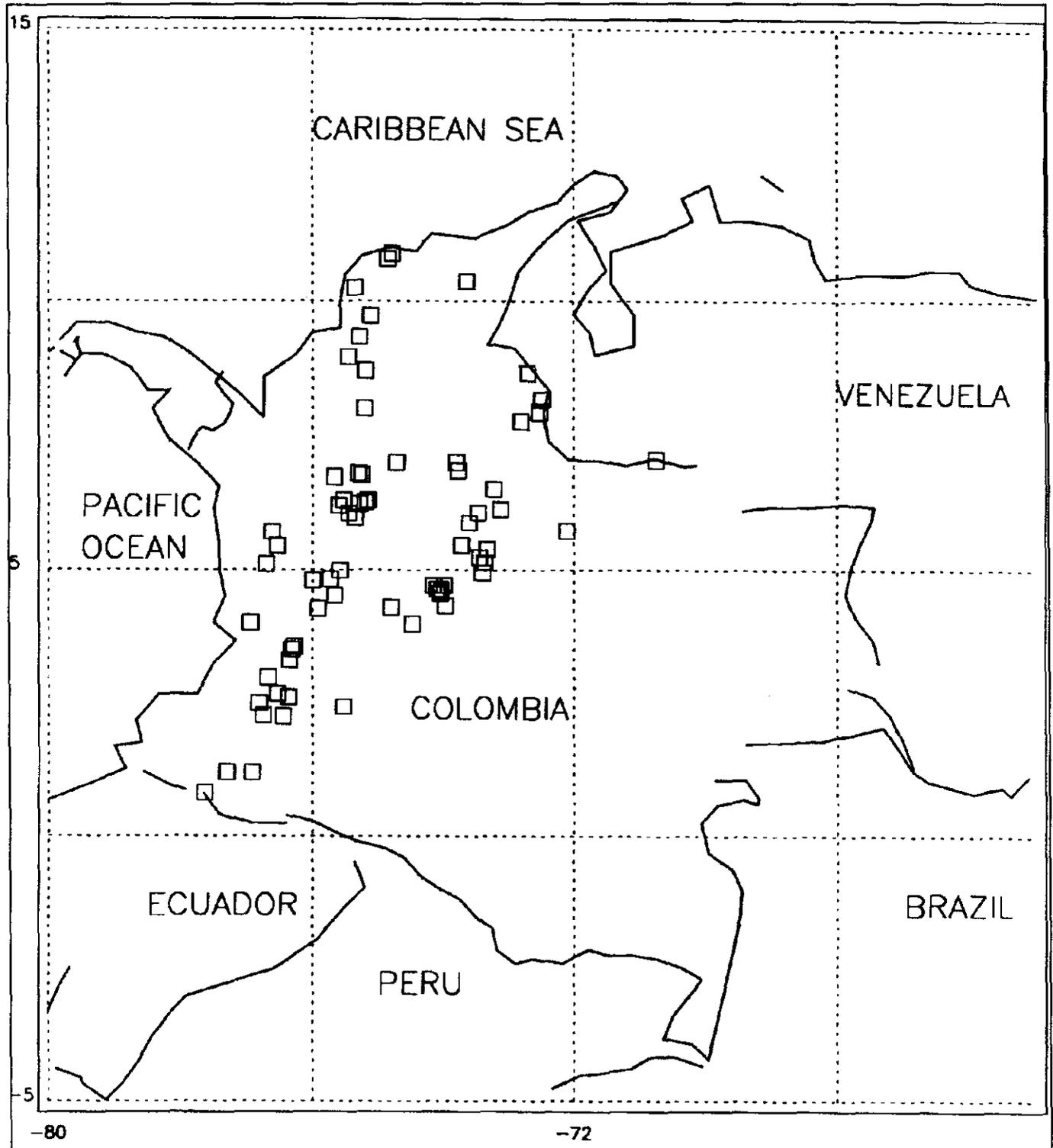


Figura 2. Localización de las 88 estaciones de registro de lluvias usadas en el análisis de Componentes Principales, para el período 1958-1990.

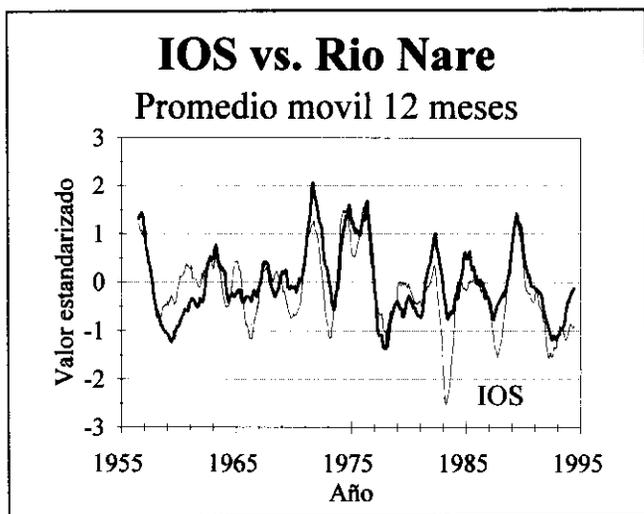


Figura 3. Evolución temporal de las series de anomalías del SOI y de los caudales del río Nare en Santa Rita (Antioquia). El coeficiente de correlación simultánea es de 0.70, estadísticamente significativo al 99%.

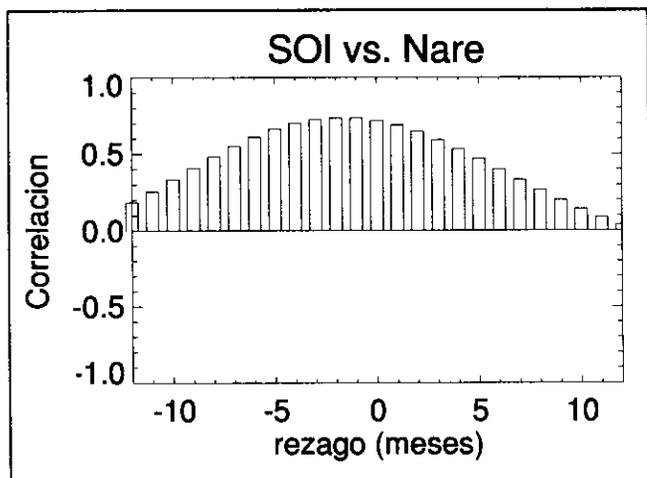


Figura 4. Diagrama de correlación cruzada entre las series mostradas en la figura 3 para rezagos entre -12 y 12 meses. Los rezagos negativos indican que la serie del SOI antecede a la hidrología del río Nare en el número de meses indicado por el rezago, sobre la abscisa.

En la figura 3 se presenta la evolución temporal de las series del SOI y de las anomalías de los caudales del río Nare en Santa Rita en Antioquia. Como se observa, la asociación entre ambas señales es muy fuerte. En la figura 4 se presentan los valores del coeficiente de correlación cruzada para rezagos entre -12 y 12 meses en donde los rezagos negativos indican que la serie del SOI antecede a la hidrología del río Nare en el número de meses indicado por el rezago, sobre la abscisa de la figura 4. Allí se observa que la máxima correlación de 0,73

(significativa al 95%), se presenta cuando el SOI antecede a los caudales del río Nare en 2 meses.

3. Vectores de la Malaria

La malaria o paludismo es una enfermedad producida por varias especies de parásitos del género *Plasmodium*, de los cuales dos son responsables de casi la totalidad de los casos de malaria que ocurren en Colombia, el *Plasmodium vivax* y el *Plasmodium falciparum*. El parásito es transmitido de persona a persona por un mosquito del género *Anopheles* que se cría en charcos, pozos o lagunas, o en la axila de las plantas parásitos de la familia *Bromeliaceae*.

La hembra del mosquito vector necesita sangre para poder producir huevos y asegurar su reproducción. La obtiene picando animales o al ser humano. Pocos días después pone huevos en los estanques de aguas quietas, en los cuales se originan larvas que crecen progresivamente, y que dan origen a nuevos mosquitos en el transcurso de 7 a 10 días, dependiendo de la temperatura del agua. La hembra del mosquito continua obteniendo sangre cada 2 a 4 días para formar más huevos. Si la sangre la obtienen de un enfermo de malaria, adquiere el parásito, que cumple dentro del mosquito un ciclo de desarrollo que termina con la generación de una forma llamada esporozito que ocupa la glándula salivar del mosquito hembra y que infectará a la próxima persona que el vector pique para obtener sangre. Mientras más días logre sobrevivir el mosquito, mayor oportunidad tendrá de incrementar su progenie porque pondrá más huevos e igualmente más oportunidad tendrá de transmitir la enfermedad.

Tres factores climáticos afectan la epidemiología de la malaria: temperatura, lluvia y humedad (Bouma, 1995). La temperatura afecta la dinámica de la población de vectores (longevidad y tasa de picadura), y posiblemente también la duración del ciclo del parásito de la malaria dentro del mosquito. Cuando las temperaturas están por encima de lo normal, el período larvario del mosquito se acorta, con lo cual el número de mosquitos puede incrementarse. Una mayor temperatura puede dar lugar a una disminución del período de incubación extrínseco (el intervalo de tiempo que transcurre entre la ingestión del parásito y la transmisión por picadura), acelerando por tanto el proceso de transmisión. La transmisión es incrementada en climas más cálidos por una mayor abundancia de vectores (Epstein y Stewart, 1995). Adicionalmente, modificaciones en la temperatura del agua de los criaderos se acompaña de cambios en la flora

de algas favoreciendo la cría de determinadas especies de Anofelinos que pueden ser más potentes vectores de enfermedad.

La lluvia y la humedad influyen sobre la densidad y la longevidad de la población de vectores, así como sobre la presencia de sitios de incubación. El régimen de lluvias condiciona la producción y el tamaño de los criaderos de mosquitos. Excesos de lluvias hacen rebosar los criaderos disminuyendo o impidiendo la producción de mosquitos. La sequía excesiva ocasionará la extinción de muchos criaderos y por ende disminuirá la disponibilidad del hábitat adecuado para que el vector tenga en donde colocar sus huevos. Condiciones normales de lluvia garantizan la existencia de depósitos apropiados para la reproducción de mosquitos. No obstante y aún cuando parezca paradójico, una ausencia prolongada de lluvias puede facilitar el establecimiento de otros criaderos de mosquitos en las orillas de ríos y quebradas que comiencen a mostrar una importante disminución de caudal, ya que permiten la formación de pequeñas lagunas y charcos estancados que son rápidamente colonizados por mosquitos. Este hecho ha sido reportado en Sri Lanka (Bouma *et al.*, 1994). Es claro entonces, que cambios acentuados en los regímenes de lluvias y temperaturas tienen gran influencia en el número y especies de los vectores de malaria, en la longevidad del mosquito y en la duración del ciclo extrínseco del parásito dentro del vector.

4. Malaria-ENSO en Colombia

En diversas partes del mundo se ha reportado el incremento en casos de enfermedades de origen hídrico y de las transmitidas por vectores, como resultado de la variabilidad climática forzada por el llamado fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Entre las primeras están el cólera, la disentería, y la tifoidea, y entre las segundas están la malaria, el dengue, la fiebre amarilla, la encefalitis, la esquistomiasis y los hantavirus, y de pestes agrícolas en roedores, insectos, hongos, bacterias y virus. Por ejemplo, hay reportes acerca de brotes epidémicos de malaria asociados al ENSO en Pakistán (Bouma y van der Kaay, 1994), y Venezuela (Bouma y Dye, 1996). En Ecuador y Perú, brotes de malaria parecen estar relacionados con la fase cálida del ENSO y a las inundaciones que causa en esos países (Epstein and Stewart, 1995). Ver también los trabajos de Bouma (1995), y Patz *et al.* (1996).

Dos tercios de la población Colombiana vive en áreas endémicas de malaria (Rojas *et al.*, 1992). La precipitación media anual varía desde menos de 50 mm en regio-

nes de la costa Atlántica hasta regiones con 10.000-13.000 mm sobre la costa Pacífica. La temperatura varía con la altitud desde 0-5,000 m. Los más importantes vectores de la malaria en Colombia son *Anopheles albimanus*, *A. darlingi* y *A. nuñeztovari* (Quiñonez *et al.*, 1987), los cuales transmiten *P. falciparum* (46.5%) y *P. vivax*, y algunos casos de *P. malariae* (Haworth, 1988).

En la Figura 5 se presenta la evolución temporal de los índices de Incidencia de malaria por *P. vivax* (I.V.A.), y por *P. falsiparum* (I.F.A.) y su agregado, llamado Incidencia Parasitaria Anual (I.P.A.). Estos índices se definen como el número de casos reportados en relación con la población bajo riesgo, tal como han sido reportados por el Ministerio de Salud de Colombia para el período 1959-1994. En la figura 5 se destacan tres hechos: (1) los picos que se presentan en los años 1961, 1968, 1972, 1977, 1983, 1987 y 1991/1992; (2) la evidente tendencia creciente en el número de casos reportados, y (3) la predominancia que ha alcanzado el I.V.A. sobre el I.F.A. en los últimos años, en particular desde 1976-77. Sobre el primer punto se observa que los incrementos fuertes en el número de casos reportados se presentan en los años de ocurrencia del fenómeno de El Niño, demarcados por las flechas. Para el año 1961, debe recordarse que el período seco de 1957-1962 en Colombia forzado por El Niño ha sido uno de los más intensos y prolongados en la historia del país. El año de 1968, aunque no figura en la categoría de Kiladis y Diaz (1969) como un año El Niño, es sin embargo, un año de anomalías negativas de lluvias

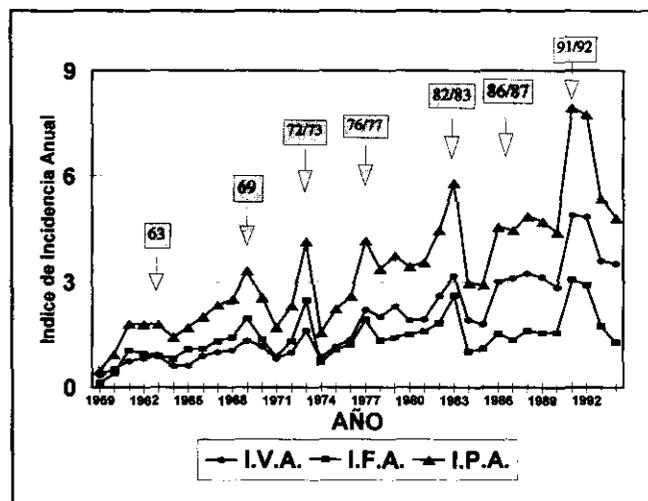


Figura 5. Evolución temporal del índice de Incidencia Parasitaria Anual (I.P.A.), del total de *Plasmodium vivax* y *P. falsiparum* en Colombia, y reportados por el Ministerio de Salud para el período 1959-1994.

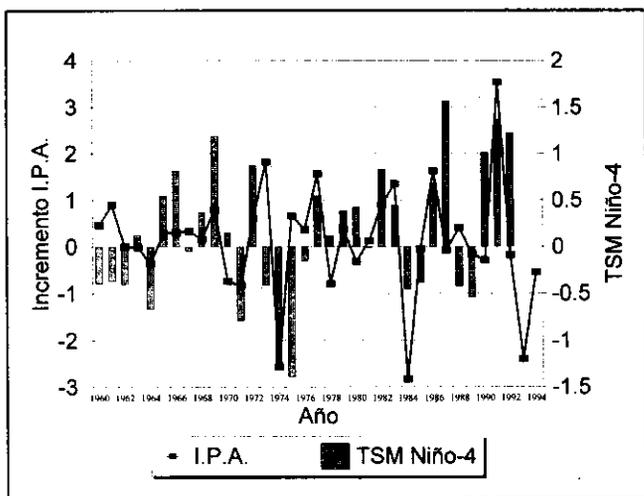


Figura 6. Evolución conjunta de las series de la primera derivada del índice I.P.A. y de las temperaturas superficiales del mar en la región Niño-4.

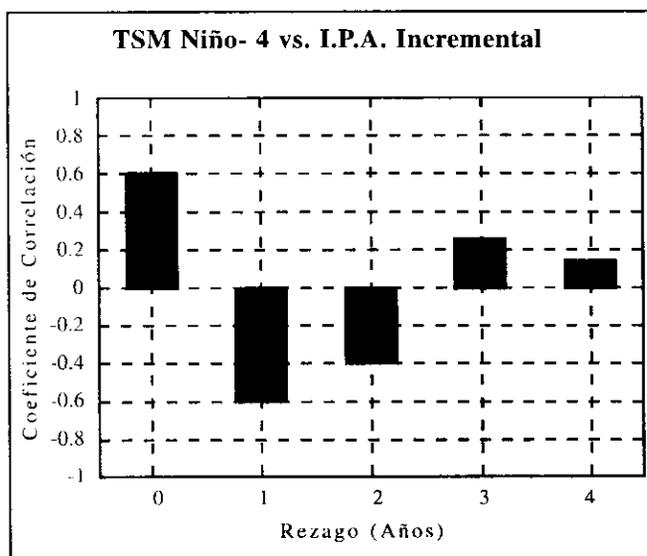


Figura 7. Diagrama de correlación cruzada entre las series de la figura 6, cuando la serie de temperaturas superficiales antecede la serie de la malaria en el número de años mostrado sobre la abscisa.

en Colombia (Poveda, 1994). Los demás años corresponden exactamente con los años de la ocurrencia de El Niño. Este incremento no es producto del azar. Hay una relación entre los períodos secos causados por el fenómeno El Niño en Colombia y el incremento de los casos de malaria del país. Debe hacerse una salvedad. La relación entre la señal del ENSO y la de la hidro-climatología de Colombia (como ocurre en todas partes) no es perfecta. Varios factores lo producen: la intensidad, la amplitud y

la duración de las fases del ENSO varían de evento a evento, además otros fenómenos están influyendo para modular la hidrología de Colombia, a través de interacciones no lineales con el ENSO: el monzón de la India, el centro de altas presiones atmosféricas del Atlántico Norte en Azores, la circulación en la cuenca del Amazonas, la oscilación de Madden-Julian, la Oscilación Cuasi-Bienal de los vientos estratosféricos, etc., (Poveda, 1996).

Para cuantificar la asociación entre el fenómeno ENSO, en la figura 6 se presenta la primera derivada de la serie de IPA. Esta primera derivada es una manera convencional de remover la evidente tendencia creciente presente en la serie. Allí se muestra también la evolución del promedio de las temperaturas superficiales del mar en la región Niño-4, que como se demostró, es la que presenta las mayores correlaciones con la hidro-climatología de Colombia. En la figura 6 se hace más evidente la fuerte asociación entre el fenómeno ENSO y la variabilidad de los casos de malaria en Colombia, lo cual es confirmado por el análisis de correlación cruzada (figura 7), los cuales presentan valores del coeficiente de correlación de 0,61 (estadísticamente significativos al nivel de 95%), para rezagos de 0 y 1 año.

Las razones que pueden explicar la estrecha relación entre la ocurrencia del fenómeno de El Niño y la intensificación de la malaria en Colombia tienen que ver con los aspectos discutidos en los numerales anteriores. En particular el incremento de las temperaturas del aire, y la disminución de lluvias (que contribuye a la formación de charcos y aguas estancadas en los lechos y riberas de ríos y quebradas), y que ocurren en Colombia durante El Niño, parecen ser los principales mecanismos que influyen sobre la dinámica de los sistemas ecológicos de los parásitos y los vectores que producen y transmiten la enfermedad. Sin embargo, esta es una primera aproximación a la explicación detallada de la relación ENSO-Clima de Colombia-casos de malaria. Sobre este tema estamos profundizando la investigación, particularmente con énfasis en los niveles regional y local.

La tendencia creciente que se observa en los casos de malaria reportados en Colombia (figura 5) puede tener varias explicaciones:

- Desarrollo de resistencia a los insecticidas empleados en la llamada Campaña de Erradicación de la Malaria de 1962 a la fecha.
- Desarrollo de resistencia del parásito (*Plasmodium*) a los medicamentos antimaláricos.

- Disminución en las campañas de control de malaria por razones presupuestales y/o problemas de orden público en zonas especialmente favorables para la enfermedad.
- Es posible que la tendencia creciente en la incidencia de malaria tenga relación con el cambio climático a escala global, y su incidencia particular en Colombia. Sobre este punto uno de nosotros (G.P.J.) ha encontrado, conjuntamente con O. J. Mesa del Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, serias y consistentes evidencias (ver *UNAL-UPME*, 1996).

5. Conclusiones y discusión

Hemos mostrado las evidencias estadísticas sobre la asociación existente entre el fenómeno El Niño y la instensificación de los brotes epidémicos de malaria en Colombia. Es claro que la epidemia de esta enfermedad es resultado de múltiples factores, pero la variabilidad climática asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur permite explicar una porción importante de la varianza de los casos de malaria en el país. Esta evidencia permite conjeturar que la ocurrencia del fenómeno de El Niño también está relacionada con otras enfermedades de origen hídrico o de transmisión vectorial en Colombia, en particular el dengue. Estas correlaciones estadísticas pueden ser utilizadas para desarrollar Sistemas de Alerta Temprana (SAT) de las condiciones climáticas que conducen a brotes epidémicos, facilitando así la intervención de las autoridades del sector salud en Colombia, mediante el fortalecimiento de los programas de control integrado de vectores. La aplicación de insecticidas y controles biológicos y la implementación de otras medidas no permanentes (impregnado de toldillos con piretroides) se puede planificar e implementar una vez que se espera la ocurrencia del fenómeno de El Niño. Todo el sector salud puede movilizar personal, agilizar las campañas de entrenamiento para el diagnóstico de la malaria, planificar con antelación los dispensarios y almacenamiento de droga antimalarica e iniciar campañas de vacunación, aumentar la vigilancia y por supuesto diseminar la información y las medidas de control en los medios de comunicación.

Las buenas posibilidades de predicción del fenómeno ENSO, que se reportan constantemente en la literatura científica y las posibilidades de predicción de la hidroclimatología de Colombia ofrecen una herramienta de predicción de los brotes de malaria en Colombia. Cada vez es mayor el número y el tipo de metodologías que se

reportan en la literatura para la predicción de los fenómenos oceánico-atmosféricos asociados con el ENSO. Los resultados de tales predicciones se reportan mensualmente en documentos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos, como el *Forecast Bulletin* y el *Climate Diagnosis Bulletin*, y están disponibles en el World Wide Web de Internet en la siguiente dirección: http://nic.fb4.noaa.gov/products/analysis_monitoring. En el Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se han venido desarrollado herramientas para predicción hidrológica en distintas escalas de tiempo tratan de incorporar el efecto del ENSO sobre la hidro-climatología de Colombia y además las características no lineales de los procesos hidrológicos. Entre ellas, se mencionan los siguientes métodos: redes neuronales (*Mesa et al., 1994*), análisis espectral singular (*Carvajal et al., 1994*), ecuaciones diferenciales estocásticas con potencial de doble pozo (*Salazar et al., 1994a*), procesos auto-regresivos dependientes del régimen (*Salazar et al., 1994b*), modelación lineal inversa (*Poveda y Penland, 1994*) y modelos de regresión multivariada adaptiva por tramos (MARS, *Rendón, 1997*) Los resultados muestran una mejora muy importante en la capacidad de predicción frente a otros métodos usuales en hidrología.

Se requiere seguir ahondando en la investigación para determinar con claridad los mecanismos físicos de la relación El Niño-clima local y regional-casos de malaria, en Colombia. Es necesario efectuar un detallado examen de los parámetros climáticos y su relación con los aspectos más importantes de la dinámica ecológica y epidemiológica de la malaria en el país, fundamentalmente a nivel local y departamental. Igualmente es importante definir cual es el impacto de los cambios climáticos ocasionados por el fenómeno ENSO sobre el ciclo biológico del *Plasmodium*. Este trabajo puede proporcionar un marco de referencia para la investigación y el entendimiento de la relación entre factores climáticos, la variabilidad climática a diversas escalas de tiempo y la salud humana.

Reconocimientos

El trabajo de G. Poveda ha sido apoyado parcialmente por COLCIENCIAS. Los datos de malaria han sido suministrados amablemente por el Ministerio de Salud de Colombia. Este trabajo se ha beneficiado de valiosas discusiones con M. L. Quiñonez, P. R. Epstein, N. Graham, M. Bouma y D. Chavasse.

Referencias

- Bouma, M. J. *Epidemiology and control of malaria in northern Pakistan with reference to the Afghan refugees, climatic change, and El Niño Southern Oscillation*, ICG Printing, dordrecht, The Netherlands, 1995.
- Bouma, M. J. & H. J. van der Kaay. Epidemic malaria in India and El Niño Southern Oscillation, *The Lancet*, 344, 1638-1639, 1994.
- Bouma, M. J., H. E. Sondorp, & H. J. van der Kaay. Climate change and periodic epidemic malaria, *The Lancet*, 343, 1440-1444.
- Bouma, M. J. & C. Dye. Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela, submitted.
- Carvajal, L. F., O. J. Mesa, J. E. Salazar, & G. Poveda. Aplicación del análisis espectral singular a series hidrológicas en Colombia. *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 3, 97-108. 1994.
- Díaz, H. F., & G. N. Kiladis. Atmospheric teleconnections associated with the extreme phases of the Southern Oscillation. En: *El Niño. Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation* (H. F. Diaz y V. Markgraf, eds.), 1992.
- Díaz, H. F., & V. Markgraf (eds.). *El Niño. Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. 476 p., 1993.
- Epstein, P., & M. Stewart. Saving scarce public health resources and saving lives: Health sector applications of climate forecasting . Preprint. 1996.
- Glantz, M., R. Katz & N. Nicholls (eds.). *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*, Cambridge University Press. 535 p., 1991.
- Mesa, O. J., G. Poveda, L. F. Carvajal & J. E. Salazar. Efecto del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur en la hidrología Colombiana, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, Vol. 3, IAHR, Santiago de Chile, 373-384, 1994.
- Patz, J. A., P. E. Epstein, T. A. Burke & J. M. Balbus. Global climate change and emerging infectious diseases, *Jour. Amer. Med. Assoc.*, 275, 217-223, 1996.
- Poveda, G. Funciones Ortogonales Empíricas en el análisis de la relación entre los caudales medios en Colombia y las temperaturas de los océanos Pacífico y Atlántico, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 131-144, 1994.
- _____. *Modulación de la hidrología de Colombia por el ENSO y otros fenómenos de gran escala*. Trabajo presentado para obtener la categoría de Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1996.
- Poveda, G., & O. J. Mesa. The Relationship between ENSO and the hydrology of tropical South America. The case of Colombia , *Proceedings of the Fifteenth Annual American Geophysical Union Hydrology Days*, 227-236, Atherton, CA, USA, Hydrology Days Publications, 1995.
- _____. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Ingeniería Hidráulica en México*, XI, No.1, 21-37, 1996.
- _____. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large scale oceanic-atmospheric phenomena , En Imprenta, *J. Climate*, 1997.
- _____. & C. Penland. Predicción de caudales medios en Colombia usando Modelación Lineal Inversa , *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 119-129, 1994.
- Quiñonez, M. L., M. F. Suárez & G. A. Fleming. Estado de la susceptibilidad al DDT de los principales vectores de malaria en Colombia y su implicación epidemiológica. *Biomédica*, 7, 81-86, 1987.
- Rendón, L.D. Beneficios de la predicción hidrológica en el sector eléctrico Colombiano considerando la variabilidad climática. Tesis de Magister. Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1997.
- Rojas, W., F. Peñaranda & M. Echavarría. Strategies for malaria control in Colombia, *Parasitology Today*, 8, 141-144., 1992.
- Salazar, J. E., O. J. Mesa, G. Poveda & L. F. Carvajal. Aplicación de un modelo continuo no lineal de series hidrológicas, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 169-180, 1994a.
- _____. Modelamiento del fenómeno ENOS en la hidrología colombiana mediante procesos autoregresivos dependientes del régimen, *Memorias del XVI Congreso Latino-Americano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4, 181-191, 1994b.
- Unninayar, S. S., & W. Sprigg. Climate and the emergence and spread of infectious diseases, *EOS*, 76, No. 47, p. 478, 1995.