

Evaluación semanal de la relación malaria, precipitación y temperatura del aire en la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela

Vidal Sáez-Sáez^{1*}, Jean Martínez^{1**}, Yasmín Rubio-Palis^{2,3} & Laura Delgado⁴

Las condiciones de precipitación y temperatura del aire son factores de importancia que afectan la ocurrencia de casos de malaria en el estado Sucre, Venezuela. Dada la dinámica de la transmisión de la malaria, los análisis de la relación entre las variables climáticas y la incidencia de la enfermedad deben examinarse a escalas de tiempo menores que un mes, y por ello en este trabajo se cuantifican tales relaciones a escala de tiempo semana en la subregión de Península de Paria, estado Sucre. Para comprender el comportamiento de la lluvia y la temperatura del aire se hacen dos análisis: el primero de ellos es la caracterización de las series largas (históricas), que luego sirvieron para comparar los registros de los años 2002 y 2003. El segundo análisis correspondió a la caracterización de las precipitaciones y temperatura del aire durante los años 2002 y 2003. Para este último período se emplearon datos de lluvia y temperatura del aire a nivel semanal (para este elemento se suman los registros diarios para una semana, ya que los valores medios no logran describir la variabilidad y su relación con el índice parasitario semanal (IPS) y se cotejaron con los registros históricos (1970-2003). Finalmente estas series climáticas se analizaron con los registros de malaria a través de análisis de regresión múltiple; procedimiento que se replicó con rezago o desplazamientos de las series hasta por cuatro semanas. Todos los coeficientes de regresión (R) resultaron estadísticamente significativos. El rezago o desplazamiento de una semana presentó los más altos valores de R describiendo entre 30 y 47,7% de la relación de los casos de malaria con la lluvia y la temperatura del aire. Se concluye que estas variables logran describir una parte importante de la variabilidad de ocurrencia de la malaria observada en esos dos años en la península de Paria del estado Sucre; se sugiere ampliar el número de observaciones temporales y evaluar otros parámetros como los entomológicos (abundancia y longevidad del vector, ubicación y calidad de criaderos) y su relación con estas variables climáticas a fin de profundizar el conocimiento sobre la incidencia de los factores ambientales que afectan la incidencia de la malaria y contribuir al diseño de un sistema de alerta temprana para prevenir epidemias en el estado Sucre.

Palabras claves: Malaria, precipitación semanal, temperatura semanal, estado Sucre, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La malaria es un problema de salud pública en Venezuela. Entre los años 2001 y 2004 se reportaron un total de 129.570 casos, de los cuales 40.973

(31,6%) ocurrieron en el estado Sucre (MS-DSA, 2001-2004). Durante el año 2002, los municipios Cagigal y Mariño del estado Sucre reportaron los Índices Parasitarios Anuales (IPA) más altos de toda Venezuela: 259,7 y 69,0 por 1000 habitantes respectivamente (MS-DSA, 2002). El vector principal de malaria es *Anopheles (Nyssorhynchus) aquasalis* Curry (Berti *et al.*, 1993a) y 99,8% de los casos que se reportan son debidos a *Plasmodium vivax* (Cáceres *et al.*, 2005). Ecoepidemiológicamente esta región ha sido caracterizada como malaria costera (Osborn *et al.*, 2004; Rubio-Palis & Zimmerman, 1997).

Estudios realizados en el estado Sucre sobre bionomía de *An. aquasalis* han mostrado

¹ Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Universidad Central de Venezuela - Caracas, Venezuela.

² Dirección de Control de Vectores, Ministerio del Poder Popular para la Salud - Caracas, Venezuela.

³ BIOMED, Universidad de Carabobo, Sede Aragua. Maracay, Venezuela.

⁴ Instituto de Zoología Tropical, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

**Dirección actual: Conservación Ambiental del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Venezuela.

*Autor de correspondencia: vial2ss@cantv.net

que esta especie se cría en diversos humedales, principalmente en extensos manglares ubicados en el sur de la Península de Paria (Berti *et al.*, 1993a; Grillet *et al.*, 1998; Zoppi de Roa *et al.*, 2002), siendo la abundancia de mosquitos (larvas y adultos) mayor durante la época de lluvias (Berti *et al.*, 1993b; Grillet *et al.*, 1998). Sin embargo, no hay estudios longitudinales que describan la interrelación entre factores entomológicos y climáticos con la casuística de malaria.

Es conocido que el clima es un factor determinante en la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores (WHO, 2002; IPCC, 2001). Se han realizado diversos estudios en donde se ha evidenciado que la transmisión puede ser afectada dramáticamente por el cambio climático global de origen antropogénico y por la variabilidad climática natural (Epstein, 1995; Martens, 1997; Rogers & Randolph, 2000) y por el fenómeno de El Niño (Bouma & Van Der Kaay, 1997; Poveda & Rojas, 1997; Bouma *et al.*, 1997; Poveda *et al.*, 2001). El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es un evento de interacción del sistema océano-atmósfera que se presenta en el Pacífico tropical y afecta al sistema climático mundial (Roosel, 1998; Cárdenas *et al.*, 2002; Martelo, 2002; CIIFEN, 2006). Los pronósticos realizados sobre el incremento en la transmisión de malaria están basados principalmente en el aumento de la temperatura ambiental por efecto del cambio climático global (Lindsay & Birley, 1996).

Por otra parte, los fenómenos climáticos de ocurrencia cuasi-periódica como ENSO afectan la dinámica de la transmisión de malaria. En algunas regiones el incremento en la transmisión está asociado con cambios en la precipitación (Bouma & Dye, 1997; Poveda & Rojas, 1997; Gagnon *et al.*, 2002) y en otras, con cambios en la temperatura del aire (Patz *et al.*, 2002; McMichael & Butler, 2004), o ambos (Bouma *et al.*, 1996; Loevinsonh, 1994; Poveda *et al.*, 2001; Rua *et al.*, 2005; Ruiz *et al.*, 2006).

La variabilidad climática y su efecto en el incremento de la incidencia de malaria se puede asociar a varios factores entomológicos tales como: incremento de la abundancia y sobrevivencia del vector (Epstein, 1997; Martens, 1997); reducción del ciclo gonotrófico y por ende, aumento en la frecuencia de ingestas sanguíneas (Lindsay & Birley, 1996); modificación y calidad de los criaderos del

vector (Epstein, 1997) y, reducción de la duración del ciclo extrínseco del parásito dentro del vector, lo cual incrementa el tiempo de vida infectiva del vector (Lindsay & Birley, 1996). Pruebas de laboratorio demostraron la reducción no lineal del ciclo gonotrófico en el vector *Anopheles albimanus* Wiedemann, cuando estos fueron expuestos a temperaturas entre 24° a 30°C (Rua *et al.*, 2005), de aquí la posibilidad de vincular períodos más cálidos, producto de la variabilidad del clima y la acción que ello puede llevar sobre el vector que transmite la malaria.

El incremento en el riesgo de transmisión de la malaria es multifactorial. Además de las variables climáticas y su efecto en los factores señalados arriba, existen otros que deben ser considerados, tales como la deforestación y su impacto en la proliferación de criaderos del vector (Walsh *et al.*, 1993; Tadei *et al.*, 1998), la resistencia de los vectores a los insecticidas y de los parásitos a los medicamentos antimaláricos (Hay *et al.*, 2002) así como las dificultades administrativas que reducen las actividades de los programas de control (Epstein, 2000).

En los últimos años ha habido un esfuerzo por realizar modelos de pronóstico y el desarrollo de sistemas de alerta temprana a fin de predecir y prevenir la malaria en el estado Sucre (Barrera *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2005).

Trabajos de investigación referidos al estudio de dengue y malaria han intentado cuantificar la relación entre el número de casos con series mensuales de lluvia en los estados Aragua (Rubio-Palis, 2004), Distrito Capital (Sáez-Sáez, 2004), Bolívar (Natera, 1987; Millán & Torres, 2000; Bocanegra & Martínez, 2003) y Sucre (García & Sanz, 2003). Como resultado común, estos estudios han mostrado una relación entre las variables en cuestión, los cuales indican que tienden a ser positivos entre el monto de las lluvias observadas y el número de casos. Por otra parte, algunas de las conclusiones de estos trabajos han sugerido que se debe cambiar la escala temporal de registro de las variables ambientales a menos de un mes. Los datos de lluvia o temperatura del aire en acumulados anuales y mensuales, al ser comparados con los registros de casos de malaria no vislumbran una relación convincente; el ciclo de crecimiento de los insectos como parte del sistema complejo hombre-enfermedad-vector comprende períodos que van de

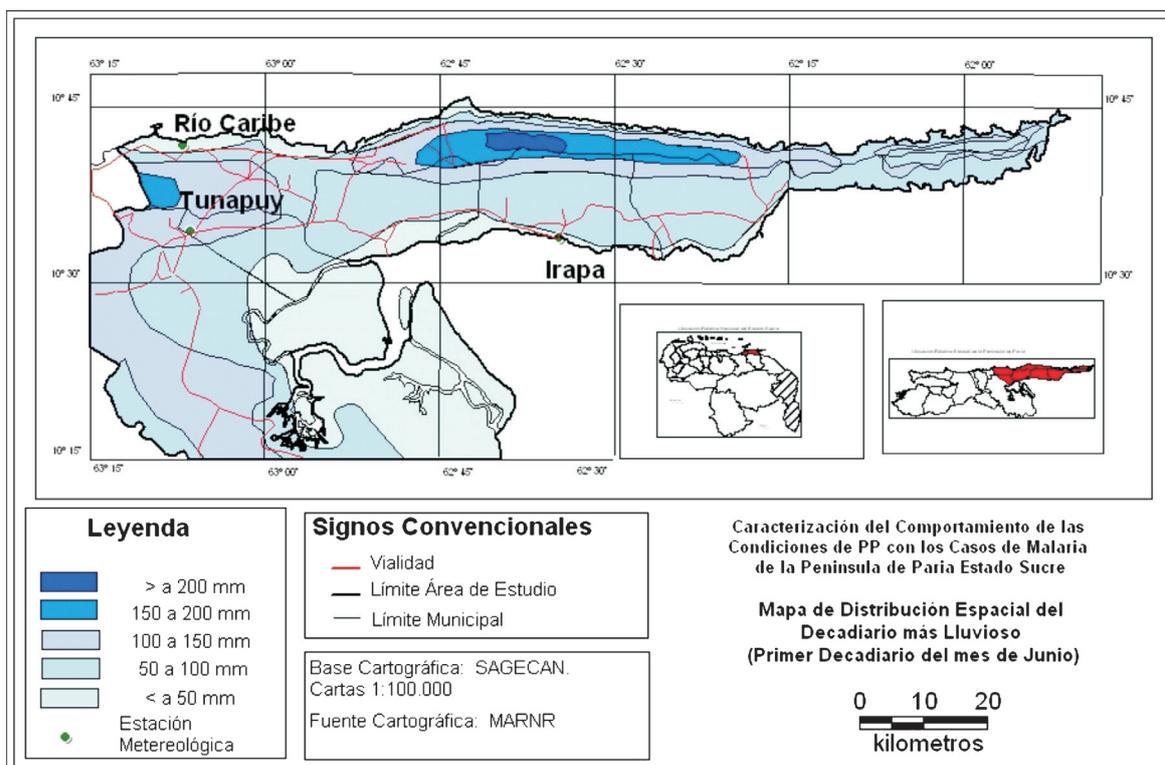


Fig. 1. Localización relativa de la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela. Se muestra la ubicación de las estaciones climatológicas seleccionadas: Río Caribe, Tunapuy e Irapa. Distribución espacial de la precipitación para la serie de tiempo 1970-2002.

días a semanas, y en el caso del trópico el período de vida se cumple en varios días dada las condiciones favorables del medio, por tanto, pareciera conveniente emplear registros de precipitación y temperatura del aire a nivel semanal como propuesta evaluación cuantitativa. El propósito de este trabajo es evaluar la relación de la precipitación y la temperatura del aire con casos de malaria, para los años 2002 y 2003, en la subregión de Península de Paria, estado Sucre, a fin de contribuir al diseño de un sistema de alerta temprano para prevenir epidemias en el estado Sucre.

METODOLOGÍA

La Península de Paria está localizada al este del estado Sucre al nororiente de Venezuela, limitada al norte por el mar Caribe (Figura 1). Se caracteriza por estar conformada por costas, colinas altas y bajas; con alturas que varían entre 0 y 1200 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m). La división político-administrativa de la Península comprende cinco municipios: Libertador, Cagigal, Arismendi, Mariño y Valdéz. Se

localizan varios centros poblados urbanos y rurales; entre los principales están Río Caribe, Irapa, Güiría, y Yaguaraparo, con una densidad media de 61,8 a 70,4 habitantes/km² (INE, 2001), un poco menor a las principales ciudades del estado Sucre, con ello se configura áreas con baja densidad en la región.

Se seleccionaron tres estaciones meteorológicas (Fig. 1) con registros de precipitación: Irapa (10° 36' N; 62° 42' W; con una altura de 49 m.s.n.m), Río Caribe (10°42' N; 63° 07' W; a 80 m.s.n.m) y Tunapuy (10° 34' N; 63° 06' W; con una altura a 53 m.s.n.m) pertenecientes al Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR). La estación Tunapuy es la única que registra la temperatura del aire para la Península de Paria para los años 2002 y 2003, y su ubicación con relación al área de estudio sugiere que sus observaciones pueden caracterizar el patrón de distribución de la variable al considerar el índice del vecino más cercano (Rodríguez, 1986), por tanto, los valores de la estación permitieron ser comparados con los casos de malaria.

Con el objeto de conocer el comportamiento de la lluvia, y a partir de los registros diarios disponibles, se conformaron series acumuladas de precipitación decadiaria (la sumatoria de cada diez días) a fin de analizar las series en escalas menores a 30 días, el período comprendido entre 1970 y el año 2002, denominados series históricas que luego servirán para ser comparada con registros de los años 2002 y 2003; con estos valores se calculó la lluvia decadiaria media y la lluvia con ocurrencia del 20 y 80 %, con el objeto de tener umbrales de confianza de la lluvia y espacializar su distribución. Climáticamente la lluvia con percentil 20 y 80%, representan distribuciones de frecuencias que se hacen a partir de las series observadas. La precipitación del 20% equivale a montos elevados en comparación a la media (equivale a períodos o años lluviosos), son eventos pocos frecuentes en el tiempo; al contrario, las lluvias frecuentes son aquellos montos más bajos que tienden a cero (equivale a períodos o años secos), y en este caso se seleccionó la del 80%. El fin es caracterizar el comportamiento medio de las lluvias en el área de estudio, y además identificar los valores que se esperarían en los períodos lluviosos y secos del área en estudio. Los datos de lluvia semanal y temperatura del aire de los años 2002 y 2003, se compararon con los valores de las series históricas con el fin de caracterizar el comportamiento de estos dos años. El valor del acumulado de la temperatura del aire es un índice que representa una alternativa para describir su comportamiento, ya que el valor promedio pudiera enmascarar la importancia de este elemento al no evidenciar eventos de varios días cálidos o templados, que puedan tener impacto sobre el desarrollo de la población de mosquitos.

Una vez conocido el comportamiento de las series climáticas, se analizaron los registros de precipitación y el acumulado de temperatura del aire con los Índices Parasitarios Semanales (IPS) (número de casos/número de habitantes x 100.000 habitantes) de la enfermedad reportados por semana epidemiológica (MSDS, 2004) para el período de estudio mediante análisis de regresión múltiple, ya que con un análisis de correlación simple no se encuentran resultados estadísticamente significativos. Para estimar los IPS se consideró el número de habitantes para esos dos años; los registros empleados fueron suministrados por el INE (2001), con estimaciones de crecimiento de población a nivel mensual, posteriormente estos valores fueron llevados a una proporción que

corresponden a semanas a fin de analizarlos con las series epidemiológicas. Para la estimación de los coeficientes de regresión y demás estadísticos se empleó el paquete estadístico SPSS 12.0 for Windows (2001), en español. Este procedimiento fue replicado con las series desplazadas (“lagged”) o rezagadas hasta por cuatro semanas con el objeto de vincular o identificar el estado previo a corto plazo de las condiciones ambientales en semanas anteriores con los casos de la enfermedad.

RESULTADOS

En general, el área de estudio presenta una diversidad de geoformas que determinan en sus condiciones climáticas, con alturas que van desde 0 hasta 1200 m s.n.m., en la parte central de la península, éstas diferencias imprimen gradientes térmicos y de precipitación, caracterizando el área en varios grupos climáticos, que van de bosque seco tropical (bs-T) a bosque húmedo premontano (Ewel & Madriz, 1968).

Las Fig. 1 y 2 (a, b y c) muestran la distribución espacio-temporal de la precipitación para las estaciones Irapa, Río Caribe y Tunapuy, según los registros históricos. Según la Fig. 1, la distribución espacial de los montos de las lluvias en la Península de Paria, y de acuerdo con los registros históricos, son mayores en las partes más altas del sistema montañoso, luego y de manera progresiva disminuyen al piedemonte hasta observar los menores registros en la costa; Junio es el mes más lluvioso del año en promedio, donde los registros en la parte alta de la Península de Paria es de más de 200 mm y disminuye hasta un poco menos de 50 mm, a nivel de las costas del área de estudio. En general, en la Península de Paria, el período más seco se registra entre Enero y Mayo, con valores medios de hasta 20 mm. Luego, la precipitación se incrementa progresivamente entre el 2do y 3er decadiario de Mayo, hasta el mes de Diciembre, con valores medios entre 40 y 60 mm, este período se relaciona con la temporada lluviosa. La estación Río Caribe, ubicada al norte del área de estudio (Fig. 1), presenta los valores medios más bajos de las tres estaciones. Según los registros históricos, los mayores montos de lluvia ocurren a partir del 2do decadiario de Mayo y persisten hasta el 1er decadiario de Enero, con registros medios de 20 a 40 mm. La estación Río Caribe, al oeste de la Península e Irapa al sur (Fig. 1), presentan un patrón similar a la estación Tunapuy, localizada al oeste del área durante los

primeros meses, según los registros históricos, luego tienen como diferencia que las lluvias de Tunapuy son mayores a las dos primeras estaciones, en lo que resta del año con valores promedios que varían entre 60 y 100 mm por decadiario.

En la Fig. 2 (a, b y c), se aprecia la distribución temporal de la lluvia del percentil 20, los valores indican que la precipitación variaría entre 40 y 60 mm por decadiario en el norte y sur de la Península de Paria, en la temporada de lluvias. En la parte central del área, los registros de lluvia alcanzarían entre 80 y 120 mm para los decadiarios de los meses de Junio a Noviembre. Con esta serie, se aprecia que durante el período seco, (Enero a Marzo) la lluvia no supera los 20 mm, lo que señala que este período aún si el año fuera lluvioso los registros serían relativamente bajos.

Finalmente, en el análisis de las series históricas de las estaciones meteorológicas, se encontró que la lluvia es menor en la costa del norte (Río Caribe) y sur (Irapa). Hacia la parte central y colinas hay un incremento de los registros, esto se explica por el efecto que ejerce la orografía en la precipitación, a causa de la diferencia de alturas entre la costa y las partes altas de las colinas.

En la Fig. 3 (a y b), se describe el comportamiento de las lluvias a nivel semanal durante los años 2002 y 2003, para la estación Tunapuy. Se observa en primer lugar, que los registros de lluvia ocurridos en estos dos años son relativamente menores, entre un 8 al 15%, al compararlos con las series históricas. La mayoría de los valores, tanto de la temporada seca como la lluviosa, varían entre 0 y 20 mm; las mayores observaciones se presentaron en las semanas de los meses de Mayo, Junio y Julio, con un segundo máximo en Octubre y Noviembre de cada uno de los años.

La temperatura acumulada del aire semanal entre los años 2002 y 2003, varía durante las 52 semanas epidemiológicas entre 150 y 165 °C, los mayores registros están desde la semana 21 en adelante, para luego llegar a los registros de inicio de año a partir de la semana 47-48 a la semana 52 (Fig. 4). Durante el año 2003, los registros conservan similar patrón pero se presentan valores un poco más cálidos con respecto al año 2002. En general, la amplitud o diferencia de temperaturas entre las semanas más

Fig. 2. Distribución temporal de la lluvia decadiaria. Periodo 1970-2002. Estado Sucre, Venezuela.

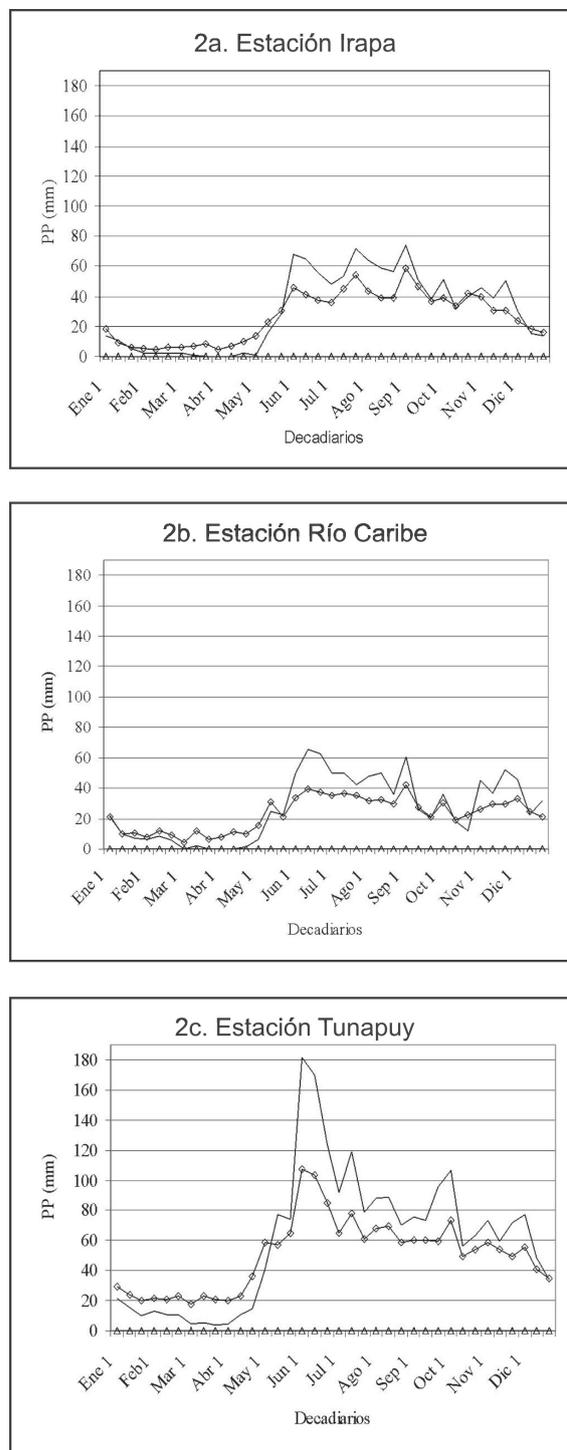


Fig. 3. Distribución mensual de la precipitación en los años 2002 y 2003 para la estación Tunapuy, estado Sucre.

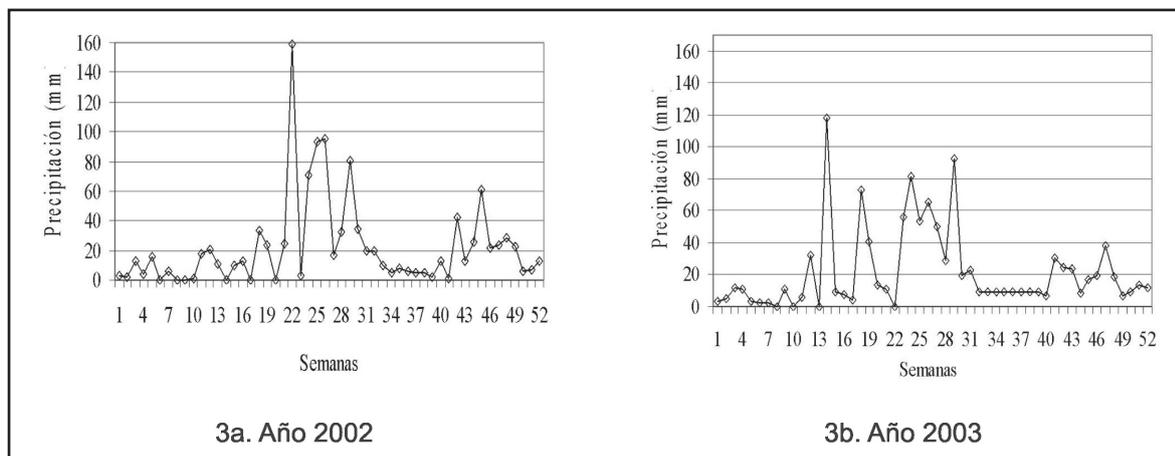


Fig. 4. Temperatura semanal mínima media. Años 2002 y 2003. Estación Tunapuy, estado Sucre.

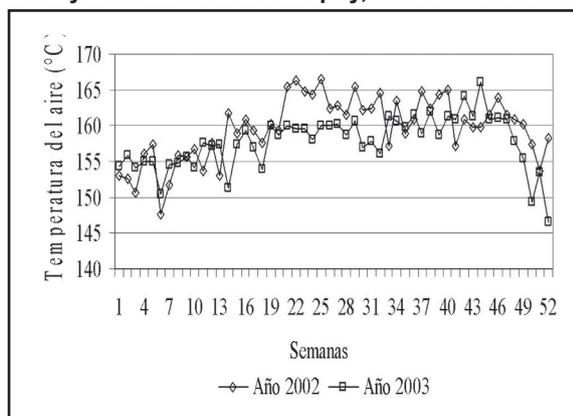
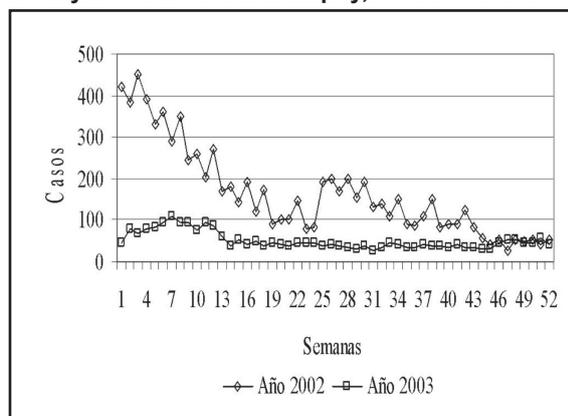


Fig. 5. Número de casos malaria por semana. Años 2002 y 2003. Estación Tunapuy, estado Sucre.



cálidas y templadas en el año es de 15 °C, para el período en cuestión, presentando poca variabilidad en el transcurso del año, al igual que entre un año y otro.

Con relación a los casos de malaria (Fig. 5), se observó una gran variabilidad de registros. Al estimar la incidencia parasitaria semanal (IPS) se obtuvo que el promedio semanal para los dos años (es decir para 104 semanas epidemiológicas) fue de 78,5 casos x 100.000 habitantes; los índices más altos se observan en las primeras semanas del año 2002 con valores comprendidos entre 200 y 340 casos x 100.000 habitantes. Luego disminuyen progresivamente hasta llegar a un IPS de 40, entre la semana 40 del 2002 hasta la tercera del año 2003, a partir de aquí

los índices se incrementan, una vez más, entre 50 a 70 casos x 100.000 habitantes hasta la semana 15 del año 2003, repitiendo el patrón del año 2002; finalmente los IPS del 2003 se mantienen entre 20 y 30, aproximadamente.

Se realizó un análisis de correlación simple entre los IPS, la precipitación y temperatura del aire con desplazamiento de hasta dos semanas entre las series, encontrándose que en el mejor de los casos, los valores de coeficiente de correlación más significativos se obtuvieron con la temperatura del aire con una semana de diferencia ($r=0,546$; $N=11$) con respecto a los registros de malaria, con relación a las lluvias los coeficientes de correlación variaron entre $-0,116$ y $-0,325$.

En la Tabla I se presentan los resultados de los coeficientes de regresión múltiple estimados entre la incidencia de malaria, precipitación y temperatura del aire semanal perteneciente a la estación Tunapuy. Se calcularon además los coeficientes de regresión ajustados (R-ajust), para las series desplazadas (rezo) hasta por cuatro semanas, es decir, la regresión múltiple entre los IPS de la fecha actual con respecto a las condiciones de precipitación y temperatura del aire para una, dos y tres semanas anteriores al reporte epidemiológico. Al considerar el valor del coeficiente (R) tabulado o teórico con los resultados, se tiene que todos los R calculados en las diferentes estimaciones son estadísticamente significativos, ello supone una relación directamente proporcional entre la ocurrencia de los casos de malaria con el incremento de las lluvias en combinación con el comportamiento de la temperatura del aire. Por otra parte, a pesar de la diferencia de IPS observados de malaria entre los dos años, los R son más altos en el año 2003.

De los resultados se aprecia que las lluvias y la temperatura del aire ocurrida con dos a tres semanas antes presentan los más altos valores de R calculados de las observaciones hechas en el estudio. Para el rezo de dos semanas, según permite interpretar el coeficiente de regresión ajustado (R-ajust.), se describió del 30,3 al 47,7 % de la relación

entre la enfermedad y las variables climáticas, valor considerable, si se toma en cuenta que la complejidad de la enfermedad debe estar representada por un número mayor de variables que la conforman (PAHO, 2005a; Rodríguez *et al.*, 2005). Este resultado también sugiere el peso que representa el acumulado de la lluvia y la temperatura del aire semanal y su acción sobre los casos de la enfermedad para el período considerado.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se muestra que el análisis por semana epidemiológica entre de malaria y las variables climáticas, precipitación y temperatura del aire, muestran una correlación positiva y estadísticamente significativa. Trabajos previos habían intentado vislumbrar este tipo de cuantificación entre la malaria, lluvia y temperatura del aire. El Instituto de Investigación Internacional de Predicción del Clima (IRI, en inglés), adscrito a la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), sostiene en sus trabajos que los cambios en el clima pueden tener un gran impacto en la salud humana debido a que influyen en las condiciones ambientales favorables a la reproducción de vectores de enfermedades, como los mosquitos (PAHO, 2005b). Como ejemplo de ello señalan que

Tabla I. Valores de la regresión múltiple: Índice parasitario semanal (IPS)¹, precipitación y temperatura semanal. Años 2002-2003. Península de Paria, estado Sucre.

Series de malaria y climáticos a la par				
Año	R	R-ajust	Error Típico	Durbin-Watson
2002	0,488	0,238	71,18	0,731
2003	0,549	0,301	13,02	0,674
Series de malaria y climáticos con una semana de desplazamiento				
Año	R	R-ajust	Error Típico	Durbin-Watson
2002	0,490	0,240	67,64	0,742
2003	0,685	0,469	11,46	0,792
Series de malaria y climáticos con dos semanas de desplazamiento				
Año	R	R-ajust	Error Típico	Durbin-Watson
2002	0,576	0,303	60,91	0,858
2003	0,706	0,477	11,07	0,797
Series de malaria y climáticos con tres semanas de desplazamiento				
Año	R	R-ajust	Error Típico	Durbin-Watson
2002	0,598	0,329	54,43	0,933
2003	0,692	0,456	11,31	0,984
Series de malaria y climáticos con cuatro semanas de desplazamiento				
Año	R	R-ajust	Error Típico	Durbin-Watson
2002	0,532	0,251	54,42	1,118
2003	0,613	0,348	12,23	0,922

$\alpha = 0,05$; g.l. = 48; $R_{\text{tabulado}} = 0,260$

¹ Índice Parasitario Semanal (IPS), estimado como el número de casos semanales dividido entre el número de habitantes multiplicado por 10000 habitantes

un clima inusualmente caluroso o lluvioso puede ampliar los lugares de reproducción o crear hábitats más propicios que contribuyen al aumento del número y la distribución geográfica de los vectores. Barlow *et al.* (2004) presentan un informe donde describen como luego de fuertes eventos de precipitación, a causa de irregularidades meteorológicas, se presentan brotes epidémicos de diversas enfermedades entre ellas la malaria en Brasil, Congo, Mozambique y Malasia, durante los años 2002 y 2003. Por otra parte, Poveda (2004) ha demostrado que en Colombia la temperatura del aire parece ser el factor más relevante.

La OMS reconoce la complejidad enmarcada en la ocurrencia de las enfermedades transmitidas por vectores, y bajo este criterio ha realizado diversos estudios considerando la variabilidad del clima, en particular considerando el cambio climático y las respuestas de las enfermedades ante esta situación, en diversas experiencias a nivel de distintas regiones en el mundo, durante los años de la década de 1990; de todo ello se concluye que hay una fuerte relación del comportamiento de las lluvias con casos descritos de enfermedades como malaria, dengue, y mal de Chagas, entre otras (Githeko *et al.*, 2000; Aron & Patz, 2001). En el trópico americano se han estudiado casos específicos durante los últimos años en Colombia, donde se vinculan brotes epidémicos de malaria con la variabilidad del clima, en particular, el efecto que ejerce ENSO (Poveda & Rojas, 1997; Poveda *et al.*, 2001; Rua *et al.*, 2005; Ruiz *et al.*, 2006). Por otra parte, Bouma *et al.* (1997) han señalado sobre el incremento de casos de malaria varios meses después de ocurrir un evento Niño; esta condición de variabilidad climática también parece tener su acción sobre el comportamiento en el régimen de las lluvias en el país según Martelo (2002), quien señala que un Pacífico templado o frío (los años 2002 y 2003, fueron calificados de débil a moderado) afecta para un lapso posterior de varios meses al régimen de las lluvias, en particular en la temporada seca.

García & Sanez (2003) relacionaron la lluvia mensual y casos de malaria por correlación simple, en la península de Paria, para el período 1986-1999; determinaron coeficientes de correlación negativos, es decir, vinculaciones inversamente proporcionales en aquellos casos donde los resultados fueron estadísticamente significativos. También en registros de casos de malaria, Bocanegra y Martínez (2003), realizaron una experiencia similar para el

municipio Sifontes del estado Bolívar. Emplearon valores mensuales de precipitación y temperatura con casos de malaria, para el período 1970-2000. Los resultados no determinaron valores estadísticamente significativos. Los trabajos descritos enfatizan que la lluvia y la temperatura del aire tienen un peso específico en la ocurrencia de la enfermedad, pero los análisis con registros mensuales y con variables en estudios de correlación simple con respecto a la enfermedad no parecieran determinar vinculación alguna. Yan (2005), en trabajos realizados en las altiplanicies africanas (Kenya, Etiopía y Uganda), bajo similar procedimiento de análisis de series entre casos de malaria y clima, advierte que los valores anuales no permiten determinar relaciones. Estos autores señalan que los datos mensuales permiten reconocer mejores situaciones en la temporada de lluvias y hay una sinergia al emplear la lluvia y la temperatura del aire.

Sáez-Sáez (2002, 2003), en estudios similares sugiere el uso de serie de datos menores a un mes al vincular condiciones de precipitación y temperatura del aire en hongos en cultivos (Sur del Lago de Maracaibo) y en dengue (Distrito Capital), ya que los registros mensuales parecían no aportar información con respecto al comportamiento de los organismos considerados en sus análisis estadísticos.

Con respecto a los resultados, a partir del empleo de series semanales en la Península de Paria en los años 2002 y 2003, se vislumbra una vinculación cuantitativa entre la enfermedad con la lluvia y temperatura a nivel semanal que en revisiones anteriores no quedaban claros, pero que reconocían la importancia que ejercen estas variables en la enfermedad. También, es necesario considerar que el área de estudio presenta condiciones que son propias y permiten la persistencia de la enfermedad, además de las condiciones climáticas. Se impone, establecer una red climática más extendida y mayor número de observaciones de la lluvia y la temperatura del aire, ampliar las evaluaciones, más aún si se considera que los años 2002 y 2003, en términos comparativos, fueron años relativamente secos con relación a lo normal. Al comparar los registros de la precipitación de cada uno de estos años con la serie histórica (Figs. 2c, 3 a y b), se revela que durante las primeras semanas de cada evaluación entre las series, los valores se acercan a los promedios, pero en la temporada correspondiente al período de estudio, queda claro que durante semanas

continuas los valores fueron más bajos a lo esperado. En otro orden de ideas, están identificadas áreas naturales como la presencia de los criaderos del mosquito que están también en función al régimen de las precipitaciones (Gordon *et al.*, 2001; Grillet *et al.*, 1998). Por otra parte, los resultados imponen una evaluación de otras variables como las condiciones socioeconómicas de la población, a fin de ampliar las razones que expliquen sobre la persistencia de la enfermedad en la entidad.

Los resultados anteriores permiten generalizar las siguientes conclusiones, el comportamiento de la lluvia durante los años 2002 y 2003, indica que aún cuando las precipitaciones conservan su patrón estacional, los registros se parecen a las series de los años relativamente secos, según se pueden apreciar de las series históricas (Fig. 2c, 3a y 3b). Esto debería estar relacionado al evento ENSO moderado, registrado durante el año 2003 (NOAA, 2006; Martelo, 2000; Martelo, 2002).

Se observó una diferencia evidente entre la incidencia de malaria del año 2002, con respecto al 2003. La reducción observada durante el año 2003 se debió al tratamiento antimalárico a base de Cloroquina y Primaquina aplicado a partir de las semanas 46 y 47 de 2002, en las localidades que registraban IPAs superiores a 50 casos por 1000 habitantes (Cáceres *et al.*, 2005). Sin embargo, los patrones de ocurrencia conservan analogías durante el transcurso de los dos años considerados, es decir, un pico en las primeras semanas del año, luego una atenuación a mediados y finales de año manteniendo paralelismo en la distribución. A pesar de esta condición extrema para el vector, se aprecia que las condiciones del medio permiten que el patrón de ocurrencia se mantenga en el tiempo (Fig. 5). El empleo de valores semanales de variables climáticas expresan mejor la descripción de la relación con la incidencia de la malaria, que el análisis hecho con valores mensuales; en particular, los resultados indican que las comparaciones hechas entre los registros de variables climáticas observados con dos a tres semanas antes con la incidencia de malaria la semana actual, describen en cierta medida el comportamiento de la incidencia de la enfermedad en la población afectada; este resultado no parece favorecer la relación cuando las comparaciones entre las series se hacen con registros de la misma semana o cuando se hacen desplazamientos de cuatro semanas y más a los casos actuales de malaria. Es altamente

recomendable lograr ampliar la red de observaciones climáticas, en particular la temperatura del aire, ya que sólo se cuenta con un punto de registros (Estación Tunapuy) en toda el área de estudio para los actuales momentos. Es importante señalar que durante los últimos 25 años ha ocurrido una restricción sistemática del número de estaciones meteorológicas en el país, y en particular, en el estado Sucre, por razones diversas, pero la principal ha sido de tipo administrativo; en el año 1983 fueron eliminados un número importante de estaciones en esa entidad; otros reajustes fueron hechos en los años de 1997 y 2000, por parte del Ministerio del Ambiente (MARNR). En todos los casos no ha habido una sustitución de todas las estaciones eliminadas. Esta situación hace que la densidad de aparatos sea menor, además se debe mencionar que algunos registros suelen presentar series irregulares por la falta de datos. Otra limitación detectada se presenta con respecto a la información epidemiológica, ya que la disponibilidad de registros semanales a nivel de municipios y parroquias se reduce a 8-10 años.

Aún cuando los resultados dados por el análisis de regresión múltiple entre la enfermedad, la precipitación y la temperatura del aire son estadísticamente significativos sería de interés determinar, en estudios posteriores, sobre qué montos o acumulados semanales de lluvia, temperatura del aire y su distribución durante el año interactúan sobre la ocurrencia de los casos de malaria, por tanto, se deben ampliar los análisis a un mayor número de años, de disponer de información climática y epidemiológica.

Este tipo de estudio es fundamental para el desarrollo de un sistema de alerta temprana a fin de evitar epidemias como las observadas en años recientes en varios municipios de los estados Amazonas, Bolívar y Sucre.

Weekly evaluation of the relation of malaria to precipitation and air temperature in Paria Peninsula, Sucre State, Venezuela

SUMMARY

Precipitation and air temperature are important factors that affect the occurrence of malaria cases in Sucre State, Venezuela. Because of the malaria transmission dynamics, the analyses of the

relationship between climatic variables and incidence of the disease have to be examined in a period shorter than one month. For this reason we quantified such relations weekly in the sub-region of Paria Peninsula, Sucre State. To understand the behavior of rainfall and air temperature, we made two analyses: the first of these was a characterization of the long series (historical) which then served to compare the reports from the years 2002 and 2003. The second analysis matched the characterization of precipitation and air temperature during the years 2002 and 2003. For this latter period, we used rainfall and air temperature data on a weekly basis (Weekly Parasite Index). For this element, we added the daily reports for one week because the median values could not describe the variability and its relation with WPI, and compared them with the historic reports for 1970-2003). Finally this climatic series was analyzed with reports of malaria by multiple regression, considering for the series lags of up to 4 weeks. All the coefficients of regression (R) were statistically significant. The lag or displacement of one week presented the highest values of R, describing 30 and 47.7% of the malaria cases in relation to rainfall and air temperature. We conclude that these variables achieve describing an important part of the variability of observed malaria in those two years in Paria Peninsula, Sucre State; we suggest increasing the number of temporal observations and the evaluation of other entomological parameters (abundance and longevity of the vector and location and quality of habitat sites) and their relation with these climatic variables for the purpose of deepening knowledge of these environmental factors which affect malaria and contributing to the design of an early warning system for preventing epidemics in Sucre State.

Key words: malaria, weekly rainfall, weekly temperature, Sucre State, Venezuela.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del Inter-American Institute for Global Change Research/CRN-048. Expresamos nuestro agradecimiento al Sr. Henry Rupp por corregir el resumen en inglés, y al Prof. Víctor Hugo Aguilar del IGDR-UCV por sus orientaciones en el análisis estadístico de las series. Al Ministerio del Ambiente por suministrar los registros climáticos.

REFERENCIAS

- Aron J. L. & Patz J. A., eds. (2001). *Ecosystem Change and Public Health: A Global Perspective*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Barlow M., Bell M., Hopp M., Kestin T., Lyon, B., Seth A. *et al.* (2004). *Compendio Climático del IRI- Febrero 2002. Impactos del Clima – Enero*. Documento en línea. <http://iri.columbia.edu/climate/cid/Feb2002/sp/impacts.html>. Consultado: 2006, Febrero 26.
- Barrera R., Grillet M. E., Rangel Y., Berti J. & Aché A. (1998). Estudio ecoepidemiológico de la reintroducción de la malaria en el nor-oriente de Venezuela, mediante Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. *Bol. Dir. Malariol. San. Amb.* **38**: 14-30.
- Berti J., Zimmerman R. & Amarista J. (1993a). Spatial and temporal distribution of anopheline larvae in two malarious areas of Sucre state, Venezuela. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* **88**: 353-362.
- Berti J., Zimmerman R. & Amarista J. (1993b). Adult abundance, biting behavior and parity of *Anopheles aquasalis*, Curry 1932 in two malarious areas of Sucre state, Venezuela. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* **88**: 363-369.
- Bocanegra Y. & Martínez J. (2003). *Modelado cartográfico para la evaluación de riesgo epidemiológico asociado a malaria en el Municipio Sifontes, estado Bolívar*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geografía. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Bouma M. J. & Dye C. (1997). Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *J. Amer. Med. Assoc.* **278**: 1772-1774.
- Bouma M. J., Dye C. & Van der Kaay H. J. (1996). Falciparum malaria and climate change in Northwest Frontier Province of Pakistan. *Amer. J. Trop. Med. Hyg.* **55**: 131-137.
- Bouma M. J., Poveda G., Rojas W., Chavase D., Quiñónez M., Cox J. *et al.* (1997). Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño Southern Oscillation. *Trop. Med. Intern. Health.* **1**: 86-89.

- Bouma M. J. & Van der Kaay H. J. (1996). The El Niño Southern Oscillation and historic malaria epidemics on the Indian subcontinent and Sri Lanka: an Early Warning System for Future Epidemics? *Trop. Med. Intern. Health*. **1**: 86-89.
- Cáceres J. L., Pizzo N., Vela F. A., Pérez W., Rojas J. G., Mora J. D., et al. (2005). Impacto de la cura radical masiva sobre la incidencia malarica del estado Sucre, Venezuela. *Bol. Malariol. Salud Amb.* **45**: 27-36.
- Cárdenas P., García L. & Gil A. (2002). *Impacto de los eventos El Niño-Oscilación del Sur en Venezuela*. Corporación Andina de Fomento. Caracas.
- CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño) (2006). *La Agenda Científica del CIIFEN*. Documento en Línea. Disponible en: <http://www.ciifen-int.org/modules.php?name=News&file=article&sid=44>. [Consultado: 2007, Febrero, 18].
- MS-DSA(2001-2004). *Alerta, reporte epidemiológico semanal para Nivel Gerencial*. Maracay, Venezuela.
- Epstein P. R. (1995). Emerging diseases and ecosystem instability: new threats to Public Health. *Amer. J. Pub. Health*. **91**: 1200-1208.
- Epstein P. R. (1997). *Climate, ecology and human health. Consequences*. The Nature and Implications of Environmental Health Change. **3**: 3-19.
- Epstein P. R. (2000). Is global warming harmful to health?. *Scientific American*. **283**: 50-57.
- Ewel J. & Madriz A. (1968). *Zonas de vida de Venezuela*. Dirección de Investigación. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- Gagnon A. S., Smoyer-Tomic K. E. & Bush A. B. G. (2002). The El Niño Southern Oscillation on malaria epidemics in South America. *Internl. J. Biometeorology*. **46**: 81-89.
- García S. & Sanes F. (2003). *Influencia de los elementos físico-geográficos asociados a la dinámica de la malaria en la península de Paria. Estado Sucre*. Trabajo especial de grado. Escuela de Geografía. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Githeko A. K., Lindsay S. W., Confalonieri U. E. C. & Patz J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bull. World Health. Org.* **78**: 1136-1147.
- Gordon E., Peña C., Rodríguez J. & Delgado L. (2001). Caracterización de la vegetación en un humedal herbáceo oligohialiano (Sabanas de Venturini, Sucre, Venezuela). *Acta Biológica Venezuela*. **21**: 41-50.
- Grillet M. E., Montañez H. & Berti J. (1998). Estudio biosistemático y ecológico de *Anopheles aquasalis* y sus implicaciones para el control de la malaria en el estado Sucre: II- Ecología de sus criaderos. *Bol. Dir. Malariol. San Amb.* **38**: 38-46.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2001) *Censo General de Población y Vivienda*. Caracas-Venezuela. Documento en línea. Disponible en: www.ine.gov.ve. [Consultado en 2006, Enero 25]
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). *Third Assessment Report* (Volumen I). Cambridge University Press.
- Hay S. I., Cox J., Rogers D. J., Randolph S. E., Stern D. I., Dennis Shanks G., et al. (2002). Climate change and the resurgence of malaria in the East Africa Highlands. *Nature*. **415**: 905-909.
- Lindsay S.W. & Birley M.H. (1996). Climate change and malaria transmission. *Ann. Trop. Med. & Parasitol.* **90**: 573-588.
- Loevinsohn M.E. (1994). Climate warning and increased malaria: incidence Rwanda. *Lancet*. **343**: 714-718.
- Martelo M. (2000). *Estudio sobre la posible influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) sobre el clima de los Llanos en Venezuela*. Reunión de Expertos de las Asociaciones regionales AR-III y AR-IV sobre Fenómenos Adversos (111-118). Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- Martelo M. (2002). *Influencia de las variables macroclimáticas en el clima de Venezuela*. Trabajo

- de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Martens P. (1997) *Health and Climate Change: Modelling the impacts of global warming and ozone depletion*. Earthscan Publications Ltd. London.
- McMichael A. J. & Butler C. D. (2004). Climate change, health and development goals. *Lancet*. **364**: 2004-2006.
- Millán A. & Torres M. (2000). *Estudio geográfico de la malaria en el área minera de El Callao, Municipio El Callao, estado Bolívar*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geografía. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- MSDS (2004). *Reportes epidemiológicos semanales*. Años 2002 y 2003. Coordinación de Malariología. DSA. Cumaná.
- Natera C. (1987) *Aporte de la geografía médica en el estado Bolívar*. Trabajo especial de grado. Escuela de Geografía. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2006). URL de internet. <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Consultado 2006, Julio 27.
- Osborn F. R., Rubio-Palis Y., Herrera M., Figuera A. & Moreno J. (2004). Caracterización ecoregional de los vectores de malaria de Venezuela. *Bol. Malariol. San. Amb.* **44**: 77-92
- PAHO (2005 a). *Alerta temprana de enfermedades relacionadas con el clima*. Boletín de la Organización Panamericana de la Salud. Documento en línea. http://www.paho.org/Spanish/DD/PIN/ahora16_abr05.htm. Consultado 2006, Febrero 28.
- PAHO (2005 b). *Vigilancia, prevención y control de enfermedades transmisibles*. Boletín de la Organización Panamericana de la Salud. Documento en línea. <http://www.paho.org/Spanish/ad/dpc/cd/Malaria.htm>. Recuperado 2006, marzo 18.
- Patz J. A., Hulme M., Rosenzweig C., Mitchell T. D., Goldberg R. A., Githeko A. K., et al. (2002). Climate change: regional warming and malaria resurgence. *Nature*. **420**: 627-628.
- Poveda G. (2004). *El Niño aumenta casos de malaria*. Documento en línea. <http://chiex.net/documents/Ciencia%20-%20EL%20COLOMBIANO.htm>. Consultado 2006, Febrero 13.
- Poveda G. & Rojas W. (1997). Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). *Rev. Acad. Col. Cienc. Exactas Fís. y Nat.* **21**: 421-429.
- Poveda G., Rojas W., Quiñónez M. L., Vélez I. D., Mantilla R. I., Ruíz D., et al. (2001). Coupling between annual and ENSO time scales in the malaria-climate association in Colombia. *Environm. Health Persp.* **106**: 489-493.
- Rodríguez J. (1986). *Proposición y evaluación de conocimientos teóricos y de procedimientos cuantitativos aplicables en climatología en el estudio geográfico regional*. Trabajo de Ascenso. Escuela de Geografía. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Rodríguez A., Delgado L. & Córdova K. (2005). *Aspectos ambientales y epidemiológicos de la malaria en el estado Sucre, Venezuela 1986-2004*. Documento en línea. <http://caibco.ucv.ve/caibco/CAIBCO/Vitae/VitaeVeintidos/Congreso/ArchivosHTML/Codigo57.htm>
- Rogers D. J. & Randolph S. E. (2000). The global spread of malaria in a future warmer world. *Science*. **289**: 1763-1766.
- Roosel F. (1998). *Influencia de El Niño sobre los regímenes hidroluviométricos de Ecuador*. Instituto de Hidrología y Meteorología del Ecuador/ Institute Francais de Recherche Scientifique pour le développement en Cooperation. Quito.
- Rúa G., Quiñónez M., Vélez D., Zuluaga J., Rojas W., Poveda G., et al. (2005). Laboratory estimation of the effects of increasing temperatures on the duration of gonotrophic cycle of *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*. **100**: 515-520.

- Rubio-Palis Y. (2004). *Influencia de variables climáticas y abundancia de Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) sobre la incidencia de dengue en Maracay, estado Aragua, 2001*. Trabajo de Ascenso. Escuela de Bioanálisis. Universidad de Carabobo. Aragua.
- Rubio-Palis Y. & Zimmerman R. (1997). Ecoregional classification of malaria vectors in the Neotropics. *J. Med. Entomol.* **34**: 499-510.
- Ruiz D., Poveda G., Vélez D., Quiñónez M., Rúa L., Velásquez & Zuluaga J. D. (2006). Modelling entomological-climatic interacciones of *Plasmodium falciparum* malaria transmission in two Colombian endemic-regions: Contributions to a Nacional Malaria Early Warning System. *Malaria Journal.* **5**: 66.
- Sáez-Sáez V. (2002). *Estudio de las condiciones agroclimáticas para determinar la ocurrencia de infestación de Sigatoka Negra en cultivos de plátanos en el Sur del Lago de Maracaibo*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Sáez-Sáez V. (2003). La geografía médica: consideraciones sobre su orientación multidisciplinaria en el ámbito de la investigación y la aplicación. *Akademios.* **5**: 91-110.
- Sáez-Sáez V. (2004). Consideraciones sobre geografía médica: estudio de la ocurrencia de casos de dengue, período 1994-1997, en el Municipio Libertador del Distrito Capital. *Terra.* **20**: 13-33.
- Statistical Package for the Social Sciences (2001). *Software and documentation*. Technical Data and Computer Software. Chicago
- Tadei W. P., Thacher-Dutary B., Santos J. M. M., Scarpassa V. M., Rodríguez I. B. & Rafael M. S. (1998). Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian Amazon. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **59**: 325-335.
- Walsh J. F., Molineaux D. H. & Birley M. H. (1993). Deforestation effects on vector-borne disease. *Parasitology.* **106 (Suppl.)**: S55-S75.
- WHO (2002). Report: *Reducing risk, promoting healthy life*. Geneva, Switzerland.
- Yan G. (2005). *Climate extreme critical factor in malariaepidemic*. University at Buffalo. Documento en línea. <http://www.buffalo.edu/news/fast-execute.cgi/article-page.html?article=65810009> . Consultado 2006, Febrero 28.
- Zoppi de Roa E., Gondon E., Montiel E., Delgado L., Berti J. & Ramos S. (2002). Association of Cyclopoid copepods with the habitat of the malaria vector *Anopheles aquasalis* in the Peninsula of Paria, Venezuela. *J. Amer. Mosq. Control Assoc.* **18**: 47-51.

Recibido el 19/08/2006
Aceptado el 30/08/2007