

# SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MALARIA EN COLOMBIA

ADRIANA MARÍA MOLINA\*

## RESUMEN

La malaria es una enfermedad prevenible que persiste como uno de los mayores problemas de salud pública en Colombia. Una asignación eficaz de los recursos para su control requiere la identificación de zonas endémicas y una caracterización sistemática de éstas en varios aspectos de manera simultánea. Se utilizó aquí la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para integrar datos de diversas fuentes para un período reciente y hacer distintos análisis espaciales en las cinco zonas endémicas identificadas. La información generada se organizó en fichas que sintetizan el panorama en cada zona endémica y permiten hacerse una idea de la vulnerabilidad de la población en riesgo, la incidencia por tipo de infección, las especies del vector que se han reportado y las condiciones climáticas predominantes. Si bien, los resultados presentados ofrecen una mirada estática de un período específico, la base de datos espacial desarrollada permite el ingreso periódico de datos para el seguimiento de la enfermedad que permitan evaluar oportunamente la efectividad de las estrategias adoptadas para la disminución de la incidencia.

PALABRAS CLAVE: Malaria, IPA, SIG.

## ABSTRACT

Malaria is a preventable disease that persists as one of Colombia's major public health problems. An efficient allocation of resources for malaria control requires the identification of endemic zones and their simultaneous and systematic characterization in several aspects. Geographic Information Systems (GIS) technology was used to bring together data from different sources for a recent period and develop various

---

\* Ingeniera Ambiental, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Docente e investigadora del grupo de investigaciones Gestión del Ambiente para el Bienestar Social –GABIS–, EIA. pfamolina@eia.edu.co

spatial analyses in the five endemic zones identified. Information was organized in synthesis cards that allow general view of each endemic zone, making it easier to have a general idea about the conditions of vulnerability of population at risk, incidence for each infection type, reported vector species and predominant climatic characteristics. Although results presented constitute a fixed view of the analyzed period, the spatial database developed permits the updating of data in order to track the disease that permits an opportune evaluation of the effectiveness of incidence reduction strategies.

KEY WORDS: Malaria, API, GIS.

## INTRODUCCIÓN

La malaria o paludismo es una enfermedad de la que se encuentra referencia en antiguos textos de medicina asirios, chinos e hindúes y que actualmente sigue siendo un problema serio de salud pública. Es producida por un parásito del género *Plasmodium* que se transmite a las personas por medio de la picadura del mosquito infectado del género *Anopheles*. Aunque es una enfermedad prevenible y curable, en la actualidad ocurren unos 500 millones de casos al año en el mundo y como resultado aproximadamente un millón de personas muere (OMS, 2008; Snow *et al.*, 2005; Pattanayak *et al.*, 2006; Sachs y Malaney, 2002), el 90 % niños en África. No es sólo la mortalidad, sino también la morbilidad el problema, ya que la fiebre, debilidad, anemia y vulnerabilidad frente a otras enfermedades inhabilitan al paciente para el trabajo productivo. Se estima que el impacto conjunto de la mortalidad y morbilidad de la malaria en el mundo, calculado en DALY (disability adjusted life years) representó en 2000 el 11% de todas las enfermedades infecciosas (Guerin *et al.*, 2002). Más aun, las condiciones de pobreza, con la desnutrición, analfabetismo y dificultades de acceso al sistema de salud comúnmente asociadas, contribuyen a generar el ambiente propicio para que la enfermedad prospere (Pattanayak *et al.*, 2006).

La enfermedad es transmitida al ser humano por cuatro especies del plasmodio: *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae* y *P. ovale*. Algunas veces el paciente presenta infecciones simultáneas por *P. falciparum* y otra especie, denominándose entonces malaria mixta o asociada. La malaria cerebral, la complicación

clínica más frecuente de la malaria por *P. falciparum*, es responsable de más del 80 % de los casos fatales (Zapata y Blair, 2003).

El problema de la malaria resurgió en algunos países del sudeste asiático, América Central y del Sur y África con más fuerza desde la década de los 80 debido a diversos factores socioeconómicos y de resistencia del mosquito y del parásito a los insecticidas y medicamentos (Warrel y Gilles, 2002), a lo cual los organismos internacionales han venido reaccionando con diversos programas: en 1998, la Organización Mundial de la Salud (OMS) anunció la iniciativa "Roll Back Malaria" como una de sus prioridades y en 2000 la enfermedad fue incluida dentro de los objetivos de desarrollo del milenio (ONU, 2008). En 2006, los países de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se fijaron la meta "de reducir la carga de malaria a la mitad para el año 2010 con una estrategia regional de prevención, vigilancia y detección; de control del mosquito; de diagnóstico y tratamiento; y con un fortalecimiento de los sistemas de salud. La movilización social, la comunicación y la promoción son elementos clave de la estrategia" (OPS, 2007).

Existe además en los últimos años preocupación por el aumento de la incidencia de ésta y otras enfermedades transmitidas por vectores, por efecto del aumento de la temperatura y la redistribución de las lluvias que conlleva el cambio climático (Epstein *et al.*, 1998; Epstein, 2000; Patz *et al.*, 2000; Cárdenas *et al.*, 2006; Githeko *et al.*, 2000; Gubler *et al.*, 2001; McCabe y Bunnell, 2004). Un número creciente de investigadores indican que no sólo avanzan hacia



altitudes y latitudes mayores las áreas geográficas que pueden afectarse con las enfermedades transmitidas por vectores, sino que las épocas de transmisión también están siendo más prolongadas durante el año (Epstein *et al.*, 1998, Epstein, 2000; Corvalan, 2007).

En Colombia, la malaria se presenta en 22 de los 33 departamentos (Padilla y Piñeros, 2001, citado por Carmona, 2003), área que corresponde, en términos generales a una altura máxima entre 1.500 y 1.800 metros sobre el nivel del mar (INS, 2000; Rodríguez, 1991, citados por Carmona, 2003). Las infecciones se presentan, en orden de frecuencia, por *P. vivax*, *P. falciparum* y malaria asociada. En los últimos años se han presentado unos pocos casos por *P. malariae*. Es una de las enfermedades de obligatorio reporte semanal por parte de los municipios al Instituto Nacional de Salud (INS), que diseña y ejecuta diferentes programas y estrategias para controlarla. En términos generales, la enfermedad es *tratada* con drogas antimaláricas o *prevenida* mediante estrategias de control vectorial (fumigaciones y eliminación de criaderos, principalmente) o evitando la picadura del mosquito con el uso de toldillos y sustancias repelentes (Pattanayak *et al.*, 2006; Warrel y Gilles, 2002). Lo más frecuente es la combinación de distintas estrategias de tratamiento y prevención que deberían diseñarse de la manera más específica posible para la región objetivo, cuya delimitación no necesariamente obedece a los límites político-administrativos, ya que la distribución geográfica de la malaria es influenciada por docenas de factores relacionados con las poblaciones humanas, del mosquito y del parásito y por el medio ambiente. Para lograr un mejor entendimiento de la variabilidad de la enfermedad en el mundo, The National Academies Press (NAP, 1991) propone lo que denomina un “enfoque por paradigmas” (paradigm approach) que define como “una nueva manera de examinar y entender los principios epidemiológicos tradicionales, que sin ser rígida, constituye una manera simple de organizar sistemáticamente los distintos aspectos de las actividades de control de la enfermedad en una

región dada”. En otras palabras, lo que permite es recolectar y organizar, *por región*, los datos disponibles de las poblaciones humanas, del mosquito y del parásito, de manera que sea comparable y permita dar prioridad y especificidad a la atención por parte del sistema nacional de salud.

La disponibilidad cada vez mayor de información satelital, que arroja información en tiempo real de grandes extensiones de terreno, y el uso de los sistemas de posicionamiento global para localizar con precisión elementos clave sobre la superficie de la tierra facilitan el análisis de las relaciones espaciales entre las múltiples variables implicadas en las enfermedades transmitidas por vectores. Existen numerosos estudios que utilizan datos aportados por estas nuevas tecnologías (Cárdenas *et al.*, 2004; Cross y Hyams, 1996; Delgado *et al.*, 2003; Corrêa, 2005; Ceccato, 2007). Sin embargo, para poder aprovechar estos avances tecnológicos, se hace necesario llevar los datos que constituyen el conocimiento histórico de las variables relacionadas con la enfermedad a un sistema de información donde se puedan analizar conjuntamente con los datos.

Siguiendo este enfoque geográfico, y apoyado en la tecnología de uso cada vez más frecuente de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el trabajo se orienta a la generación de una base de datos espacial que permita almacenar de manera organizada, en un mismo lugar, datos tabulares y cartográficos de fuentes diversas para todo el país, aprovechando los avances en las tecnologías de información. La aplicación desarrollada inicialmente recopila los datos considerados fundamentales para obtener una mirada general pero actualizada de la problemática de malaria, incluyendo, además de los reportes de ocurrencia de la enfermedad, datos generales de las condiciones sociales y del medio físico. Se espera que sirva de plataforma de información confiable para futuras investigaciones que ayuden a afrontar los retos actuales para el control de la enfermedad, quedando abierta a recibir datos de mejor resolución espacial y temporal.

Un primer producto, que se presenta aquí, es el entendimiento general de la distribución de la enfermedad en Colombia en un período reciente (2003-2005), concentrando luego la atención en las zonas que agrupan municipios vecinos que conservaron altas incidencias a lo largo del período denominadas zonas endémicas. Se utilizó el software ArcGIS 9.2 de ESRI.

Se caracterizaron cinco zonas endémicas organizando la información en fichas que sintetizan los aspectos definidos, la ubicación cartográfica, detalles del relieve y clima de cada zona y el comportamiento por período epidemiológico de los reportes de malaria.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos y fuentes de datos

Se recopiló la información tabular disponible (tabla 1) para su ingreso a la base de datos espacial. Todos los datos, tabulares y cartográficos, fueron ajustados a la misma escala espacial (municipio) y les fueron asignados los códigos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entidad oficial encargada de la estandarización de la información en Colombia.

La tabla 2 muestra los datos cartográficos ingresados a la base de datos espacial. Utilizando como

**Tabla 1.** Datos tabulares

Dato de entrada	Fuente	Escala temporal	Período
Eventos malaria	INS	Semana epidemiológica	2003-2005
No. de habitantes	DANE	N/A	2005
Reportes de captura de vectores	Recopilación de datos del Servicio de Erradicación de la Malaria por el INS	N/A	N/A
% de necesidades básicas insatisfechas (% NBI)	DANE	N/A	2005

**Tabla 2.** Datos cartográficos

Dato de entrada	Fuente	Escala espacial
División política	Origen desconocido, editados por la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) con base en IGAC/DANE	Municipio
Hidrografía	Edición EIA con base en IGAC/DANE	N/A
Red vial	Edición EIA con base en IGAC/DANE	N/A
Regiones naturales de Colombia	Edición EIA con base en IGAC	N/A
Centros poblados	Editado EIA con base en IGAC/DANE	N/A
Modelo digital de elevación (DEM)	SRTM	Tamaño de pixel: 90 m
Clasificación climática	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)	N/A



fuelle la cartografía digital del portal en internet del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entidad oficial responsable por la producción cartográfica en Colombia, la del DANE (2008) y los códigos asignados por esta entidad a los municipios y centros poblados, se editaron y corrigieron los archivos tipo *shapefile* disponibles. Las capas temáticas de hidrografía y red vial se editaron con base en la cartografía digital del IGAC y se corrigieron con el modelo digital de elevación (DEM) disponible en el portal de internet de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

## METODOLOGÍA GENERAL

### Estructuración de la base de datos espacial

Se utilizó el modelo Geodatabase de ESRI para organizar los datos disponibles en una estructura que preserva la referencia espacial y permite generar distintos tipos de consultas interactivas. El dato cartográfico que define la escala espacial de análisis es el archivo de municipios, al cual se adicionaron los datos tabulares de reportes de malaria y de captura de especies del vector, número de habitantes, y % NBI utilizando el código del municipio, dejándolos como tablas en la base de datos para permitir el ingreso periódico de nuevos datos mediante vinculación a los archivos de Excel provenientes del INS (reportes de casos de malaria con periodicidad semanal y eventuales reportes de captura de vectores) y del DANE (número de habitantes y % NBI).

Los datos cartográficos de hidrografía, centros poblados, red vial, regiones naturales y DEM dan contexto geográfico a los datos tabulares por municipio y se utilizan para realizar los distintos análisis espaciales requeridos.

El archivo de clasificación climática disponible para el estudio corresponde a los promedios históricos anuales de temperatura y precipitación de las estaciones del IDEAM distribuidas en el país. Para este trabajo, no permite actualización mediante el ingreso de nuevos datos.

### Identificación y caracterización de las zonas problemáticas

Para identificar las zonas endémicas se utilizaron tanto criterios epidemiológicos como espaciales. En primer lugar se calculó el Índice Parasitario Anual (IPA) por municipio de procedencia, indicador epidemiológico que corresponde al número de casos por cada 1.000 habitantes por año (Carmona, 2003; Nicholls, 2006), calculado con base en los reportes de malaria del INS para cada uno de los 3 años de estudio. Para el cálculo del IPA se descartaron los datos en los que no se conocía el municipio de procedencia y los casos atendidos en Colombia provenientes de otros países. Teniendo como referencia los rangos de valores definidos por Carmona (2003) para establecer los niveles de riesgo, se definieron cinco zonas que agrupan los municipios que presentaron en alguno de los 3 años un valor mayor de 1 (riesgo moderado o alto) o que tuvieran por lo menos un municipio vecino que cumpliera con el criterio.

Una vez identificadas las zonas endémicas se elaboró para cada una de ellas una caracterización en estos aspectos fundamentales:

- Extensión de la zona y número de habitantes en riesgo (DANE, 2005), mostrando además el porcentaje con respecto al país para dimensionar su importancia relativa.
- Promedio del % NBI de los municipios de la zona, que, comparándolo con el promedio nacional, da una idea de la vulnerabilidad de la población en la zona.
- Porcentaje de la zona que corresponde a cada departamento en el que la zona queda ubicada, así como el número de municipios, centros poblados y número de habitantes por departamento.
- Porcentaje de cada una de las clases climáticas definidas por el IDEAM.
- Síntesis de los principales indicadores de infección.

- Gráfico del comportamiento intraanual (por período epidemiológico) del IPA promedio.
- Vectores reportados en la zona.
- Mapa de ubicación que incluye los centros poblados, ríos principales y el relieve de la zona.

Los reportes de captura de las distintas especies del vector están disponibles por municipio. Es claro que la distribución espacial del mosquito y, por consiguiente, la distribución espacial de la enfermedad no están definidas por límites políticos, por lo cual una distribución más real podría hacerse con base en los límites inferior y superior de altura sobre el nivel del mar que definen el rango óptimo para el desarrollo de las especies presentes. Sin embargo, sólo se tiene el dato de altura máxima para cinco de las siete especies del mosquito reportadas como vectores primarios o secundarios en el país, siendo entonces imposible definir y mostrar una distribución más real de las áreas de mayor riesgo de cada zona.

### **Análisis del comportamiento intraanual de cada zona problemática**

Los casos reportados de malaria por el INS se encuentran en una unidad temporal denominada semana epidemiológica (SE) que no corresponde a la semana calendario. A su vez, un período epidemiológico (PE) equivale a cuatro SE, que tampoco corresponde en rigor a un mes calendario, ya que se generan 13 PE por año.

Con base en los reportes del INS se calculó y graficó para cada zona un promedio por cada período epidemiológico de la siguiente manera:

- Para cada municipio, para cada uno de los tres años, se generó un dato por SE, debiendo ser llenadas con ceros las SE en las que no se presentaron casos para no distorsionar luego la agregación por PE.

- Se calculó un promedio con los 3 datos (2003, 2004 y 2005) para cada SE por municipio.
- Se sumaron los promedios por municipio por SE para generar el promedio de casos para cada PE.
- Los promedios por PE por municipio se sumaron y dividieron por el número de municipios de la zona para generar un promedio por PE general, dato que se graficó para ser incluido en la ficha síntesis de cada zona.

Aunque se hizo el ejercicio de ubicar las instituciones prestadoras de servicios de salud registradas en el sistema nacional de salud, al verificar algunos sitios se descartó porque faltaban datos en municipios como Cauca, Antioquia, donde según los datos no hay hospital, lo que no es real.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **IPA**

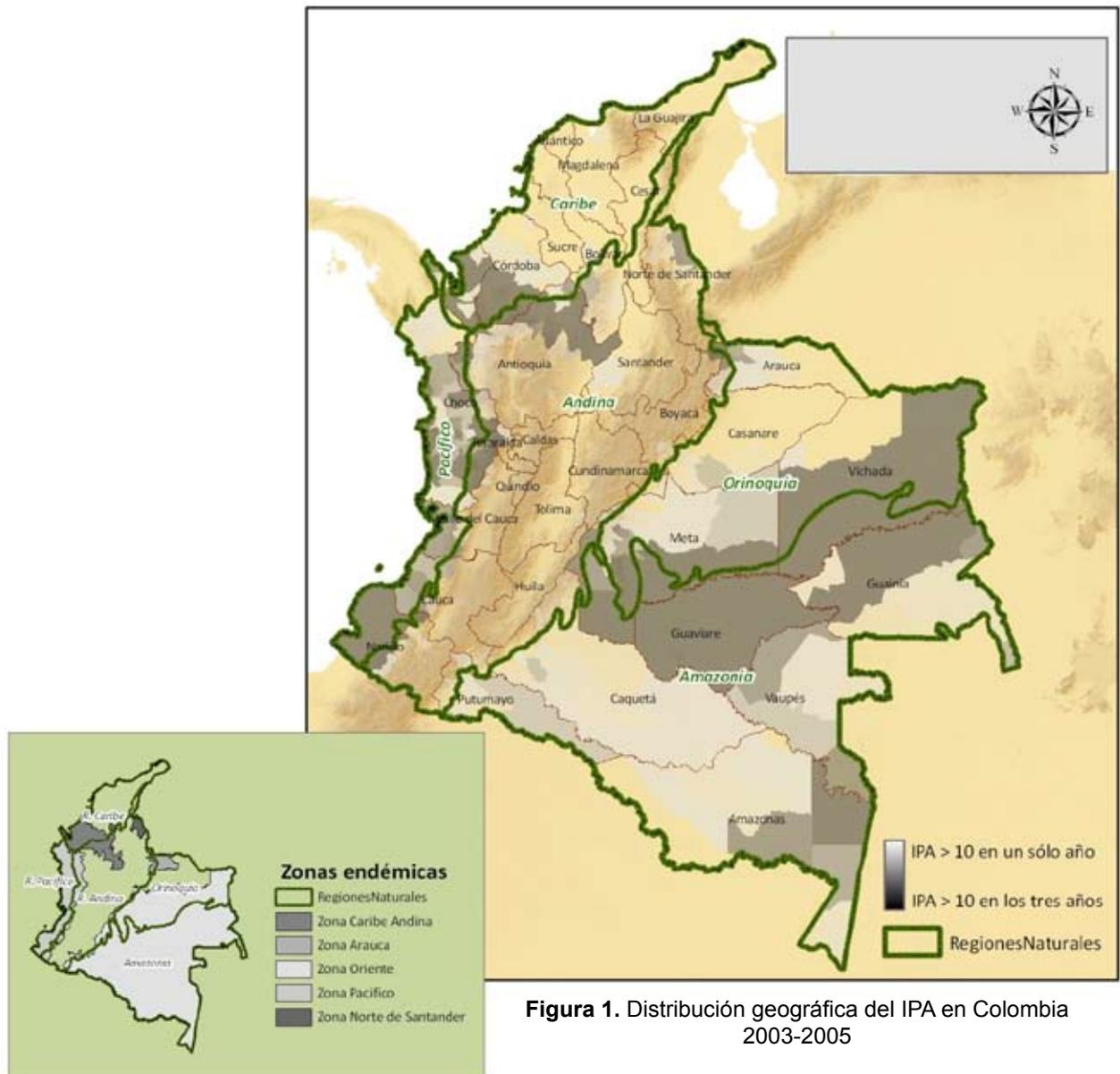
Del análisis de los reportes de casos disponibles para el trabajo en muchos casos no se conoce el municipio de origen del paciente, situación que puede deberse, entre otros motivos, al recelo de los diferentes actores del conflicto armado interno, tanto víctimas como victimarios, para dar este tipo de declaraciones.

El promedio nacional del IPA estuvo alrededor de 8 en la última década del siglo pasado, cuatro veces el valor en la década de los sesenta (Carmona, 2003). Durante el período analizado (2003-2005) los valores promedio estuvieron por debajo de 5, siguiendo la tendencia a disminuir reportada por Esguerra (2007) para los tres años precedentes. Sin embargo, los valores máximos de cada año del período de estudio son alarmantes: en 2003 San José del Palmar, Chocó (346); en 2004 Miraflores, Guaviare (254) y en 2005 Puerto Libertador, Córdoba (211). A pesar de la leve disminución durante el período, Nicholls (2006) y Carmona (2003) citando a INS (2000) afirman que la tendencia de la enfermedad ha

vido y sigue siendo creciente con presencia incluso en las zonas urbanas de gran tamaño, por lo cual habría que revisar estos valores en un intervalo de tiempo más amplio.

Se identificaron cinco zonas endémicas en las cuales se concentró el análisis (figura 1). En la figura se resaltan en color oscuro los municipios dentro de las zonas con un IPA > 1 (riesgo moderado a alto);

el tono más oscuro indica que se presentó este valor en cada uno de los tres años, mientras que el tono más claro indica que fue sólo en uno de los tres. Se incluye la delimitación de las regiones naturales de Colombia (IGAC, 2008), de donde se evidencia la concentración de los reportes en las regiones Pacífico, Orinoquía, Amazonía, un área compartida por las regiones Caribe y Andina y otras dos pequeñas áreas en Norte de Santander y Arauca.



**Figura 1.** Distribución geográfica del IPA en Colombia 2003-2005

Se presentaron algunos municipios aislados en las regiones Caribe y Andina por fuera de las zonas definidas que en uno o varios de los 3 años presentaron valores sorprendentemente altos de IPA. Entre estos, el municipio de Moñitos, Córdoba, es el que más llama la atención con un IPA de 12, 19 y 29 en 2003, 2004 y 2005 respectivamente. Otros municipios con valores algo menores (riesgo moderado) en alguno(s) de los 3 años fueron, en la región Caribe, San Andrés de Sotavento en Córdoba y en Zona Bananera, El Retén y Pueblo Viejo en Magdalena. En la región Andina, Villarrica en Tolima; La Pintada, Santa Fe de Antioquia y Vegachí en Antioquia y Cimitarra en Santander. La situación particular de esos municipios deberá ser analizada en trabajos posteriores para definir las posibles causas de estas altas incidencias en municipios aislados.

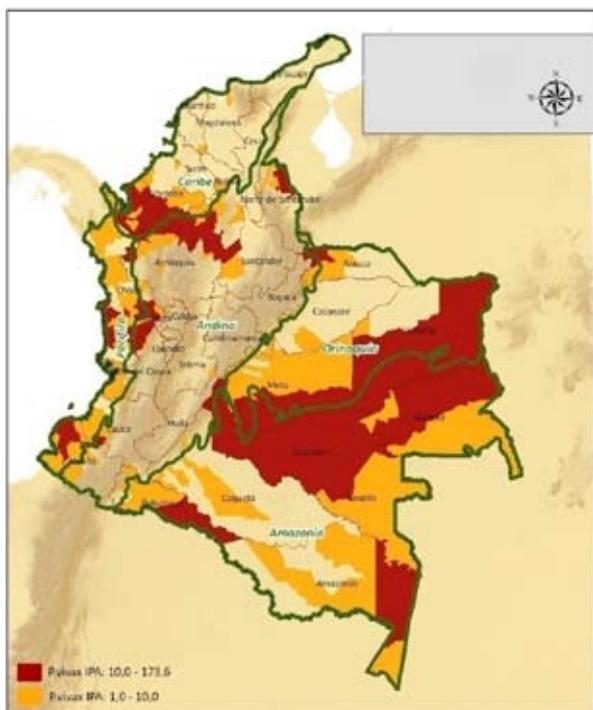
### Indicadores de infección

De los cinco posibles tipos de infección se presentan en Colombia todos excepto malaria por

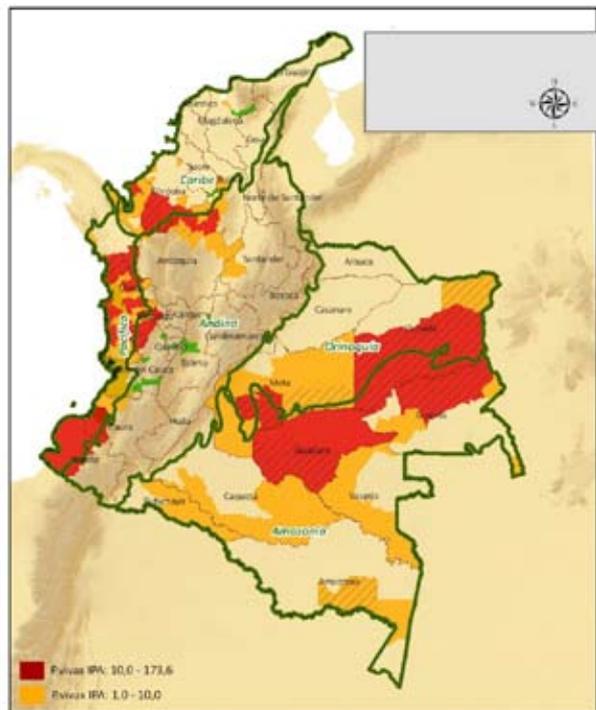
*P. ovale*. Los dos tipos más frecuentes en el país durante el período fueron la malaria por *P. vivax* (62,8 %) y por *P. falciparum* (35,3 %), seguidas por malaria mixta o asociada (1,8 %) y finalmente unos pocos casos de malaria por *P. malariae* (0,0098 %) (figuras 2 y 3).

Las figuras muestran la distribución geográfica de los cuatro tipos de infección en términos del IPA. Con excepción de la malaria por *P. malariae*, se descartaron los valores de IPA < 1 (riesgo bajo). De malaria por *P. vivax* y por *P. falciparum* se muestran aquellos municipios donde el IPA promedio para el período 2003-2005 alcanzó valores que clasifican a la población como en riesgo moderado o alto. La infección por *P. vivax* no sólo presenta los IPA más altos, sino que es la más dispersa. La malaria por *P. falciparum* es menos dispersa, pero también alcanza valores de IPA muy por encima de 10 (riesgo alto).

La malaria asociada, por su parte, solo alcanzó valores de IPA que clasifican a la población como en



**Figura 2.** Distribución geográfica de *P. vivax* en Colombia 2003-2005



**Figura 3.** Distribución geográfica de *P. falciparum*, *P. malariae* y malaria asociada en Colombia 2003-2005

riesgo moderado. La malaria por *P. malariae* es al parecer poco importante durante el período, ya que se presenta de manera aislada y con unos valores de IPA muy inferiores a 1.

## ESPECIES DEL VECTOR

La distribución de las especies de vectores es relativamente estable, casi nunca desaparecen de una región dada, y en ningún caso se ha logrado erradicar en forma deliberada una especie autóctona en alguna región del mundo. Lo que sí puede ocurrir, y de lo cual se tienen ejemplos con resultados nefastos, es la introducción de especies foráneas como fue el caso de la introducción de *An. gambiae* en Brasil y Egipto en la década de los cuarenta que causó epidemias devastadoras y requirió esfuerzos descomunales para eliminar el vector recién llegado (NAP, 1991).

Por otra parte, las especies del vector son a veces clasificadas en vectores primarios, en general más abundantes y que tienen una clara preferencia por alimentarse de sangre humana, y secundarios, que pueden ser más abundantes en épocas del año en las que las poblaciones del vector primario disminuyen por condiciones climáticas, épocas en las que mantienen los niveles de transmisión (NAP, 1991).

En Colombia se tienen reportes de 43 especies de Anopheles de los cuales se consideran tres vectores primarios: *An. albimanus*, *An. darlingi* y *An. nuneztovari* (Olano et al., 2001). Estas especies tienen una amplia distribución, sobre todo en las regiones Caribe, Pacífico, Amazonía y Orinoquía (figuras 4-6).

Existen así mismo 4 especies consideradas vectores secundarios: *An. punctimacula*, *An. pseudo-punctipennis*, *An. neivai* y *An. lepidotus* (figuras 7-9) (Olano et al., 2001). Nótese la presencia de *An.*



**Figura 4.** Distribución geográfica de *An. albimanus*. Principalmente en la región Caribe y sur de la región Pacífico, algunos municipios al norte de ésta y en la región Andina



**Figura 5.** Distribución geográfica de *An. darlingi*. Norte de la región Pacífico y más dispersa en la región Caribe, algunos municipios de la región Andina, Amazonía y Orinoquía



**Figura 6.** Distribución geográfica de *An. nuneztovari*. Más dispersa que las anteriores, en algunos municipios de la región Pacífico, Andina, Amazonía y Orinoquía

*punctimacula* y *An. pseudopunctipennis* en la región Andina, región donde sólo en muy pocos municipios se tiene reporte de los vectores considerados primarios.

La distribución de especies autóctonas obedece a las distintas combinaciones de condiciones climáticas, de relieve y cobertura vegetal que representan condiciones óptimas para cada una de ellas (NAP, 1991; WHO, 2002). De manera muy general se presentan aquí las variaciones en altura óptima planteadas por Olano *et al.* (2001) para cinco de las siete especies mencionadas (figura 10), y que explica en parte los reportes de *An. albimanus* y *An. darlingi* en las regiones de menor altura por fuera de la región Andina (exceptuando la parte media del valle del río Magdalena) y la presencia en ésta casi exclusivamente de *An. punctimacula* y *An. pseudopunctipennis*.

## ZONAS ENDÉMICAS

Se presentan a continuación las fichas que sintetizan las zonas endémicas identificadas: Caribe Andina, Pacífico, Oriente, Arauca y Norte de Santander.

Una primera comparación que permite un acercamiento a la vulnerabilidad de la población se obtiene al comparar simultáneamente la extensión, número de habitantes (figura 11) y % NBI promedio (figura 12).

Se observa que la zona menos densamente poblada, Oriente, cubre poco más de la mitad del territorio nacional con un promedio de % NBI algo inferior al promedio nacional, sólo superada por la zona Arauca. Las zonas Pacífico y Caribe Andina, por el contrario, tienen una mayor densidad poblacional



**Figura 7.** Distribución geográfica de *An. punctimacula*. Principalmente en la región Caribe y sur de la región Pacífico, algunos municipios de la región Andina, Amazonía y Orinoquía



**Figura 8.** Distribución geográfica de *An. pseudopunctipennis*. Principalmente en la región Andina, algunos municipios de la región Pacífico, Caribe y Orinoquía

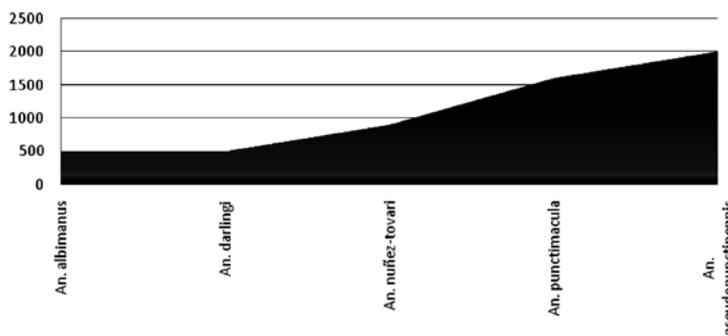


**Figura 9.** Distribución geográfica de *An. neivai* y *Ann. lepidotus*. Más dispersa que las anteriores, en algunos municipios de la región Pacífico, Andina, Amazonía y Orinoquía

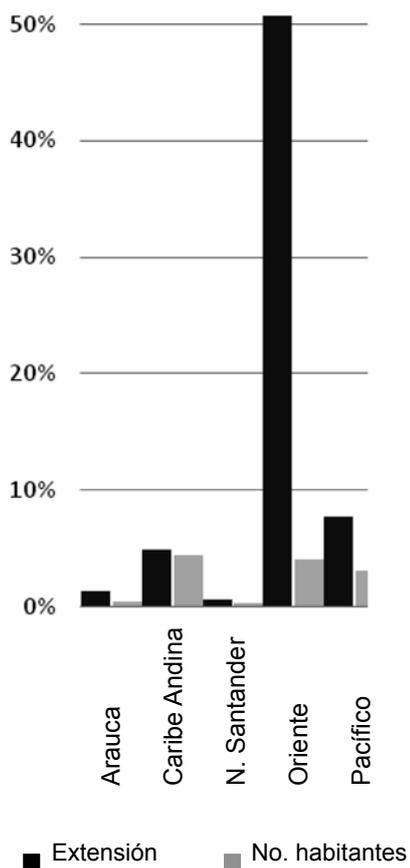


y sus habitantes presentan, en general, una mayor vulnerabilidad.

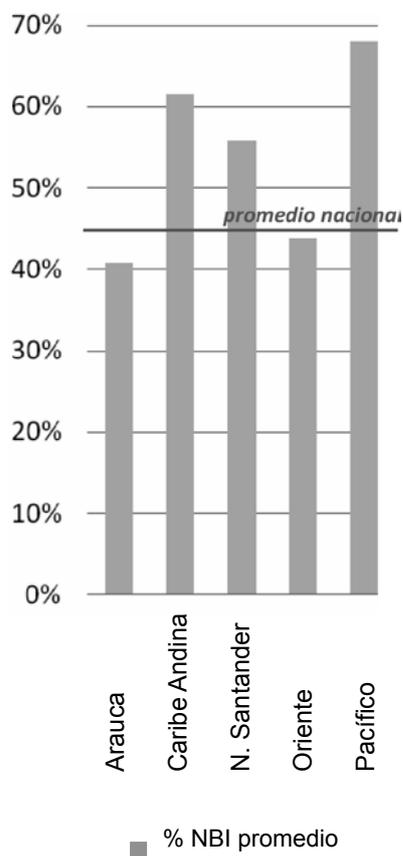
El clima predominante es el cálido húmedo (precipitación entre 2.000 y 4.000 mm al año y temperatura media anual superior a 24 °C), sobre todo en las zonas Arauca, Caribe Andina, Norte de Santander y Oriente. La excepción es la zona Pacífico donde predomina el clima cálido muy húmedo y cuya precipitación se encuentra entre 4.000 y 8.000 mm al año. La temperatura media anual



**Figura 10.** Máxima altura sobre el nivel del mar para cinco de las especies de *Anopheles* reportadas



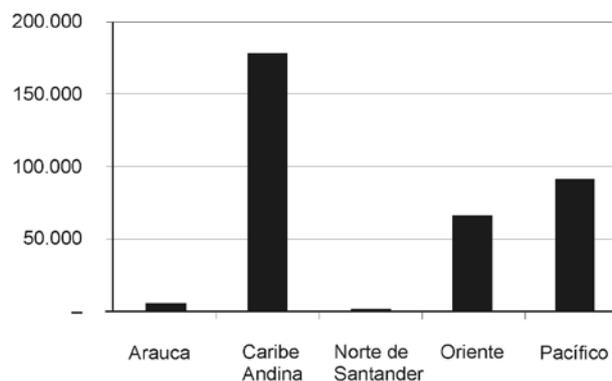
**Figura 11.** Extensión y número de habitantes por zona endémica



**Figura 12.** % de NBI promedio por zona endémica

superior a 24 °C, denominada por el IDEAM como cálida, fue indudablemente predominante en las zonas Caribe Andina (94,8 % del área) y Oriente (96,6 % del área). En las zonas restantes la predominancia no es tan evidente, tal vez debido a que los municipios alcanzan a ascender en parte a las cordilleras Occidental y Oriental, pero sigue cumpliéndose: Arauca, 73,0%; Norte de Santander, 76,3%; Pacífico, 76,1%. En cuanto a la precipitación, el rango predominante está entre 2.000 y 4.000 mm de lluvia al año, con excepción de la zona Pacífico donde predomina el rango entre 4.000 y 8.000 mm.

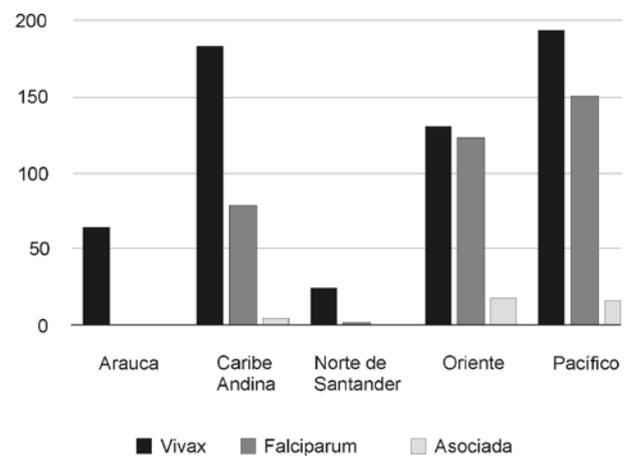
El vector primario *An. nuneztovari* y los vectores secundarios *An. punctimacula* y *An. pseudopunctipennis* se encuentran en todas las zonas endémicas, lo que supone, entonces, que en las épocas en las que las poblaciones de *An. nuneztovari* disminuyen, la transmisión es mantenida por estos dos vectores. De las otras dos especies primarias, *An. darlingi* y *An. albimanus*, aquella se encuentra en las zonas Oriente, Caribe Andina y Pacífico, y ésta en las dos últimas zonas. De *An. lepidotus*, vector secundario, no se tiene reporte en ninguna de las zonas.



**Figura 13.** Número de casos de malaria por zona endémica

Tomando como indicador el número de casos con respecto al total nacional, por ejemplo, para proveer a las distintas seccionales de salud con los medicamentos necesarios por año, el indicador muestra que en la zona Pacífico ocurrieron apenas la mitad del número de casos que en la zona Caribe Andina (figura 13). Sin embargo, con respecto al IPA, que involucra el número de habitantes en riesgo, la situación de la zona Pacífico es la más crítica (figura 14).

Los valores máximo y mínimo de IPA promedio 2003-2005 entre las zonas correspondieron, respectivamente, a la zona Pacífico (IPA promedio = 97,2) y Norte de Santander (3,4). En la zona Caribe Andina se presentaron infecciones por *vivax*, por *falciparum* y malaria asociada, siendo el número de casos por *vivax* el doble que el número de casos por *falciparum*, mientras que en las zonas Pacífico y Oriente la infección por *falciparum* alcanzó valores cercanos a los de la infección por *vivax*, todo lo cual indica que, aunque en la zona Caribe Andina ocurren en general muchos más casos de malaria, los casos por *falciparum* representan un problema mayor.



**Figura 14.** IPA promedio para cada tipo de infección por zona endémica



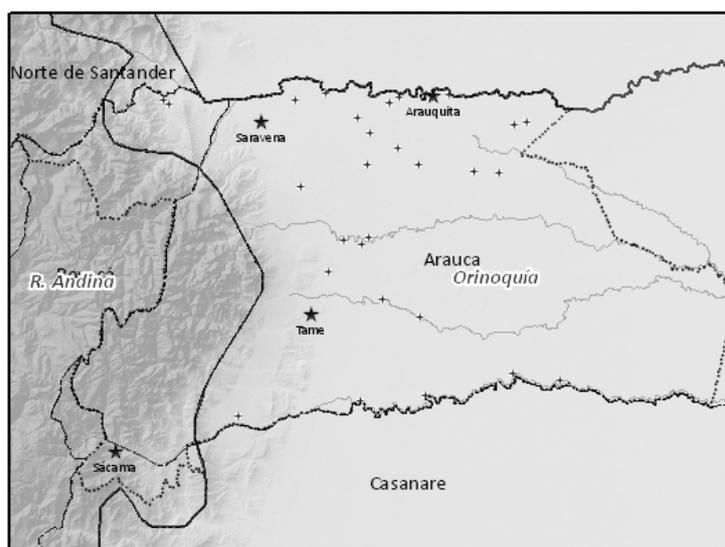
## Síntesis Zona Arauca

	Zona	País	
Extensión (km <sup>2</sup> )	14.349	1.141.969	1,3%
No. Habitantes	161.220	42.888.592	0,4%
% NBI promedio	40,8%	45,1%	

Departamentos:	Extensión (km <sup>2</sup> )	No. Municipios	No. Centros Poblados	No. Habitantes Cabecera	No. Habitantes Rural	No. Habitantes Total
Arauca	12.911	5	29	75.420	77.480	152.900
Boyacá	1.129	1	2	1.738	4.876	6.614
Casanare	309	1	1	1.043	663	1.706
<b>Σ</b>	<b>14.349</b>	<b>7</b>	<b>32</b>	<b>78.201</b>	<b>83.019</b>	<b>161.220</b>

### Clima

Cálido húmedo	65,6%
Templado húmedo	11,1%
Cálido seco	7,0%
Frío húmedo	6,0%
Muy frío seco	2,3%
Cálido muy húmedo	2,0%
Muy frío húmedo	1,9%
Frío seco	1,6%
Templado muy húmedo	1,2%
Subpáramo seco	0,9%
Páramo seco	0,1%
Frío muy húmedo	0,1%
Subpáramo húmedo	0,1%
Templado seco	0,1%
Nival seco	0,1%



### Precipitación

Húmedo (2000 a 4000 mm)	84,6%
Seco (1000 a 2000 mm)	12,0%
Muy húmedo (4000 a 8000 mm)	3,4%

### Vectores reportados

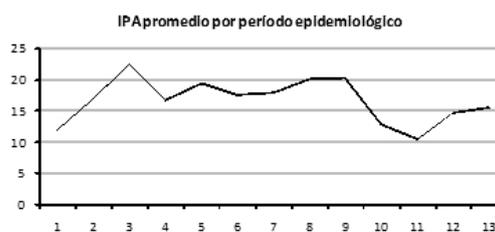
*An. punctimacula*  
*An. pseudopunctipennis*  
*An. nuñeztovari*

### Temperatura predominante

mayor de 18 °C

### Tipo de Infección

IPA gral promedio 2003-2005:	11,8
No. de casos 2003-2005:	4.523
% del no. de casos nacional:	1%
Tipo (s) de infección:	Vivax
Máximo IPA:	64,3



### Síntesis Zona Caribe Andina

	Zona	País	
Extensión (km <sup>2</sup> )	55.603	1.141.969	4,9%
No. Habitantes	1.867.091	42.888.592	4,4%
NBI promedio	61,6%	45,1%	

Departamentos:	Extensión (km <sup>2</sup> )	No. Municipios	No. Centros Poblados	No. Habitantes Cabecera	No. Habitantes Rural	No. Habitantes Total
Antioquia	24.866	21	106	485.928	373.861	859.789
Bolívar	3.880	3	20	14.830	40.573	55.403
Chocó	3.547	3	12	15.607	23.299	38.906
Córdoba	19.715	15	135	500.787	371.399	872.186
Santander	3.595	2	3	15.607	25.200	40.807
<b>Σ</b>	<b>55.603</b>	<b>44</b>	<b>276</b>	<b>1.032.759</b>	<b>834.332</b>	<b>1.867.091</b>

### Clima

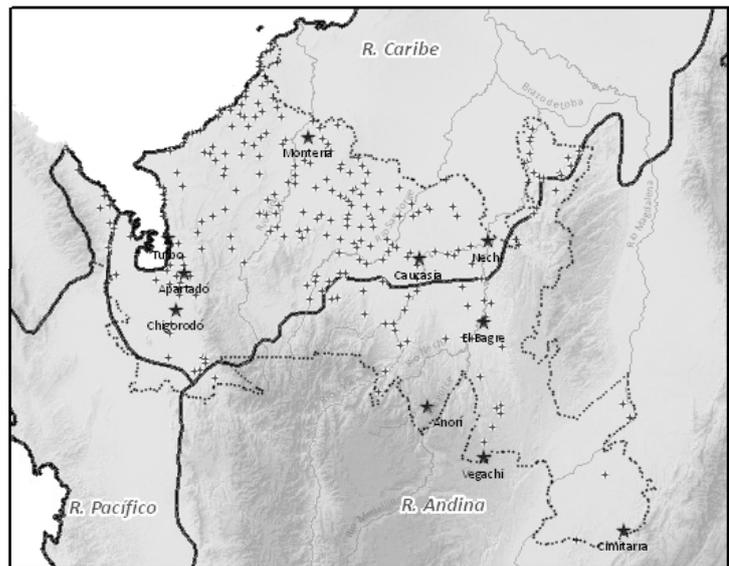
Cálido húmedo	58,5%
Cálido seco	20,0%
Cálido muy húmedo	16,4%
Templado húmedo	3,4%
Templado muy húmedo	1,6%
Frío húmedo	0,1%

### Precipitación

Húmedo (2000 a 4000 mm)	62,0%
Seco (1000 a 2000 mm)	20,0%
Muy húmedo (4000 a 8000 mm)	18,0%

### Temperatura predominante

mayor de 24 °C



Zona Caribe Andina

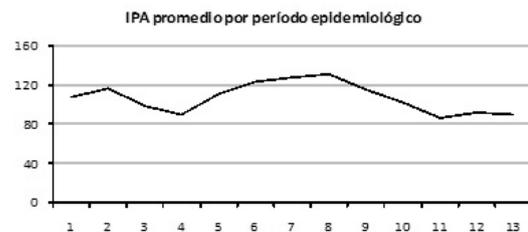


### Vectores reportados

- An. darlingi*
- An. albimanus*
- An. punctimacula*
- An. pseudopunctipennis*
- An. nuñeztovari*

### Tipo de Infección

IPA gral promedio 2003-2005:	32		
No. de casos 2003-2005:	178.594		
% del no. de casos nacional:	50,6%		
Tipo (s) de infección:	Vivax	Falci-parum	Asociada
Máximo IPA:	173,6	51,0	3,2





## Síntesis Zona Norte de Santander

	Zona	País	
Extensión (km <sup>2</sup> )	6.659	1.141.969	0,6%
No. Habitantes	102.406	42.888.592	0,2%
% NBI promedio	55,8%	45,1%	

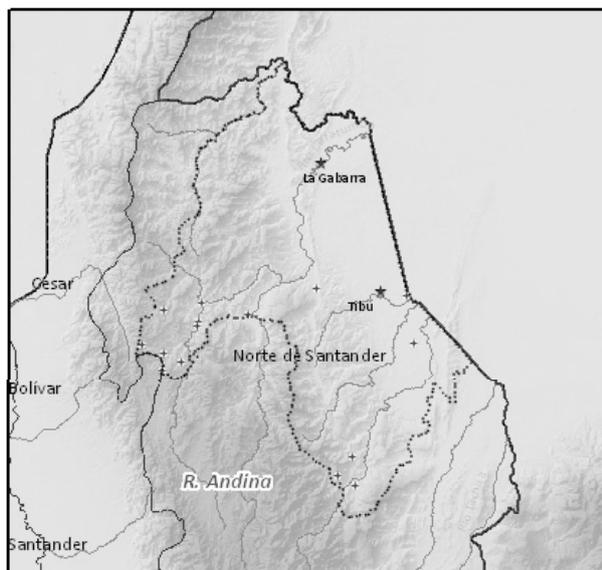
Departamentos:	Extensión (km <sup>2</sup> )	No. Municipios	No. Centros Poblados	No. Habitantes Cabecera	No. Habitantes Rural	No. Habitantes Total
Norte de Santander	6.659	5	17	32.382	70.024	102.406

### Clima

Cálido húmedo	46.1%
Cálido muy húmedo	30.2%
Templado húmedo	9.8%
Templado seco	5.9%
Templado muy húmedo	4.6%
Cálido seco	2.4%
Cálido pluvial	0.8%
Frío húmedo	0.1%
Frío seco	0.1%

### Precipitación

Húmedo (2000 a 4000 mm)	56.0%
Muy húmedo (4000 a 8000 mm)	34.8%
Seco (1000 a 2000 mm)	8.4%
Pluvial (mayor de 8000 mm)	0.8%



□ Zona Norte de Santander



### Temperatura predominante

mayor de 24 °C

### Vectores reportados

*An. nuñeztovari*  
*An. punctimacula*  
*An. pseudopunctipennis*

### Tipo de Infección

IPA gral promedio 2003-2005:	3,4		
No. de casos 2003-2005:	1.570		
% del no. de casos nacional:	0,4%		
Tipo (s) de infección:	Vivax	Falciparum	Asociada
Máximo IPA:	23,7	0,5	0,05



**Síntesis Zona Oriente**

	Zona	País	
Extensión (km2)	583.232	1.141.969	51,1%
No. Habitantes	1.702.265	42.888.592	4,0%
% NBI promedio	43,8%	45,1%	

Departamentos:	Extensión (km2)	No. Municipios	No. Centros Poblados	No. Habitantes Cabecera	No. Habitantes Rural	No. Habitantes Total
Amazonas	108.951	11	16	25.659	42.067	67.726
Boyacá	1.468	5	11	9.540	15.862	25.402
Caquetá	85.202	13	55	99.208	152.295	251.503
Casanare	12.794	6	16	51.148	21.976	73.124
Cauca	1.683	1	0	543	6.540	7.083
Cundinamarca	891	1	4	2.073	5.343	7.416
Guainía	73.406	9	9	10.793	24.437	35.230
Guaviare	54.242	4	16	49.789	45.762	95.551
Meta	85.422	27	105	569.680	209.336	779.016
Putumayo	24.860	9	31	116.687	158.992	275.679
Vaupés	53.707	6	3	13.876	25.403	39.279
Vichada	80.605	3	10	16.206	29.050	45.256
<b>Σ</b>	<b>583.232</b>	<b>95</b>	<b>276</b>	<b>965.202</b>	<b>737.063</b>	<b>1.702.265</b>



Zona Oriente

**Clima**

Cálido húmedo	93,2%
Cálido muy húmedo	3,3%
Templado húmedo	1,0%
Frío seco	0,6%
Templado seco	0,5%
Frío húmedo	0,3%
Templado muy húmedo	0,3%
Muy frío seco	0,2%
Frío muy húmedo	0,2%
Cálido seco	0,2%
Muy frío húmedo	0,1%

**Precipitación**

Húmedo (2000 a 4000 mm)	94,6%
Muy húmedo (4000 a 8000 mm)	3,8%
Seco (1000 a 2000 mm)	1,5%

**Temperatura predominante**

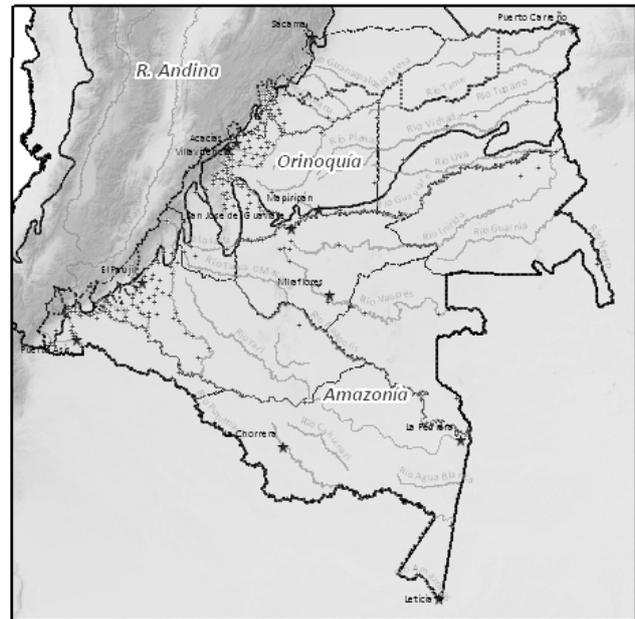
mayor de 24 °C

**Vectores reportados**

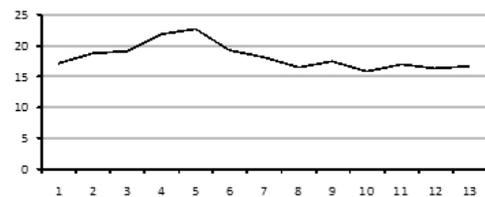
- An. darlingi
- An. nuñeztovari
- An. pseudopunctipennis
- An. punctimacula

**Tipo de Infección**

IPA gral promedio 2003-2005:	15		
No. de casos 2003-2005:	66.178		
% del no. de casos nacional:	19%		
Tipo (s) de infección:	Vivax	Falci-parum	Asociada
Máximo IPA:	131,3	123	17,9



IPA promedio por período epidemiológico





## Síntesis Zona Pacífico

	Zona	País	
Extensión (km <sup>2</sup> )	87.257	1.141.969	7,6%
No. Habitantes	1.330.352	42.888.592	3,1%
% NBI promedio	68,1%	45,1%	

Departamentos:	Extensión (km <sup>2</sup> )	No. Municipios	No. Centros Poblados	No. Habitantes Cabecera	No. Habitantes Rural	No. Habitantes Total
Antioquia	8.860	5	21	34.566	57.695	92.261
Cauca	9.058	4	31	27.250	66.162	93.412
Chocó	43.255	28	114	206.531	208.593	415.124
Nariño	17.390	11	110	130.192	208.158	338.350
Risaralda	1.441	2	6	6.879	20.262	27.141
Valle del Cauca	7.253	2	21	301.254	62.810	364.064
<b>Σ</b>	<b>87.257</b>	<b>52</b>	<b>303</b>	<b>706.672</b>	<b>623.680</b>	<b>1.330.352</b>

### Clima

Cálido muy húmedo	61,7%
Cálido húmedo	14,4%
Templado muy húmedo	5,6%
Templado húmedo	5,4%
Frío húmedo	4,6%
Cálido pluvial	3,9%
Templado seco	1,1%
Frío seco	1,1%
Frío muy húmedo	1,0%
Muy frío húmedo	0,8%
Cálido seco	0,2%
Templado pluvial	0,2%

### Precipitación

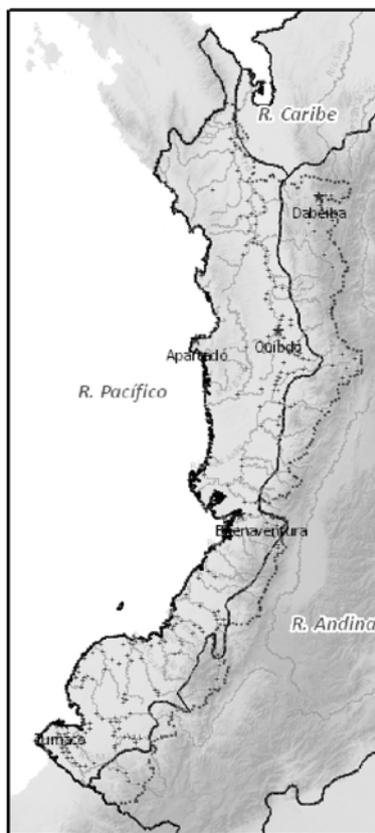
Muy húmedo (4000 a 8000 mm)	68,2%
Húmedo (2000 a 4000 mm)	25,2%
Pluvial (mayor de 8000 mm)	4,1%
Seco (1000 a 2000 mm)	2,5%

### Temperatura predominante

mayor de 24 °C

### Vectores reportados

*An. albimanus*  
*An. neivai*  
*An. darlingi*  
*An. nuñeztovari*  
*An. pseudopunctipennis*  
*An. punctimacula*



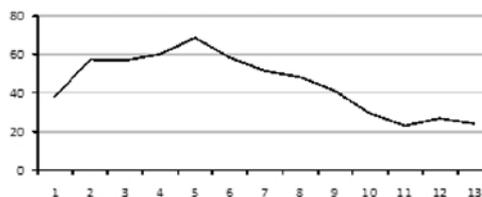
□ Zona Pacífico



### Tipo de Infección

IPA gral promedio 2003-2005:	97			
No. de casos 2003-2005:	91.127			
% del no. de casos nacional:	26%			
Tipo (s) de infección:	Vivax	Falciparum	Asociada	Malariae
Máximo IPA:	194,0	151,5	16,1	0,1

IPA promedio por período epidemiológico



## CONCLUSIONES

Se evidenció en el presente estudio la versatilidad de la tecnología SIG para modelar la distribución espacial de las distintas variables implicadas en la configuración de una región geográfica óptima para la transmisión de la enfermedad permite no sólo definir con mayor precisión las zonas de mayor riesgo, sino almacenar el registro histórico, tanto de los casos como de las condiciones ambientales y de vulnerabilidad de la población que permiten encontrar patrones espacio-temporales fundamentales para las labores de vigilancia y control de ésta y otras enfermedades transmitidas por vectores mencionadas por la comunidad científica internacional (Connor y Thomson, 2001; Connor, 2005; Delgado *et al.*, 2003; Rongnoparut *et al.*, 2005; Eisen y Eisen, 2008). La identificación de zonas endémicas para caracterizarlas de manera sistemática permitió obtener un panorama general de la problemática de la malaria en el país. El período analizado, aunque corto para entender en perspectiva la dinámica de la enfermedad en Colombia, sí permitió una visión actualizada por tratarse de datos recientes. La escala espacial del trabajo realizado, el municipio, es adecuada para una primera aproximación a la problemática nacional, pero resulta muy gruesa para análisis más contundentes de las posibles relaciones espaciales que se presentan entre los factores determinantes de la enfermedad, ya que los límites político-administrativos no necesariamente coinciden con los límites ecológicos o biológicos de la enfermedad. Para obtener una distribución más real de la presencia de vectores y de ocurrencia de la enfermedad, la base de datos desarrollada deberá incluir datos georreferenciados, actividad que es cada vez más fácil con el uso generalizado de las tecnologías de posicionamiento global (GPS). La definición precisa de las áreas endémicas es fundamental para controlar oportunamente los brotes epidémicos, ya que las áreas adyacentes a estas zonas son las más propensas a presentar comportamientos epidémicos ante cambios repentinos en las condiciones climáticas (Connor y Thomson,

2005; Ceccato *et al.*, 2007). Ante la realidad prevista del cambio climático, con el cual se espera un aumento en la incidencia de la enfermedad en zonas endémicas actuales, además de una ampliación de las áreas del país con las condiciones óptimas para el desarrollo del vector (CI, 2008; Corvalán, 2007; Epstein *et al.*, 1998; Epstein, 2000), se hace evidente la pertinencia de desarrollar herramientas para delimitar esta expansión y poder generar medidas de adaptación adecuadas y oportunas.

Distintas actividades como la deforestación, con los cambios asociados en los usos del suelo, las migraciones, la construcción de carreteras, sistemas de riego y embalses, entre otros, de manera aislada o en conjunto, con frecuencia vienen acompañadas de aumentos en la morbilidad y mortalidad por malaria y otras enfermedades parasitarias (Patz *et al.*, 2000) y aun en la incriminación de nuevas especies del mosquito como vector de malaria (Conn *et al.*, 2002), por lo cual deberán incluirse en análisis posteriores.

Por otra parte, con el fin de anticiparse o, por lo menos, mejorar la capacidad de respuesta en la atención en salud se requiere el uso de la herramienta de manera cotidiana por los distintos actores del sistema de salud y la acción conjunta de distintos sectores del Estado para aportar datos oportunos, confiables y estandarizados (Guerra *et al.*, 2008; Moss, 2006; Pattanayak *et al.*, 2006). El reporte obligatorio de casos por parte de las entidades territoriales al INS (vigilancia pasiva), siendo el dato fundamental de análisis, debe tomarse con reserva, sobre todo en países con escasos recursos en los que no se puede garantizar un cubrimiento espacial y temporal completo, y que la población efectivamente acuda al sistema de salud en caso de enfermedad (Snow, 2005; Ceccato, 2007). En Colombia, sin contar con los efectos devastadores del conflicto armado interno, las condiciones de pobreza de muchos de los municipios afectados por la malaria que refleja el indicador de % de NBI, es probable que dificulten la comunicación oportuna de los reportes al sistema de vigilancia epidemiológica (Sivigila).



Trabajos anteriores han demostrado la correlación entre el número de casos de malaria y eventos climáticos extremos como el ENSO (Poveda *et al.*, 2001; Nicholls, 2006), pero no involucran de manera simultánea la distribución espacial de variables sociales, que sí han sido estudiados con profundidad por otros autores y que pueden validarse para enriquecer el análisis de la problemática de la malaria (Pattanayak *et al.*, 2006; Guerin *et al.*, 2002; Sachs y Malaney, 2002; Hymann *et al.*, 2005; Farrow *et al.*, 2005; Minot y Bauch, 2005). Los valores altos durante el período de estudio que presentaron algunos municipios aislados de las regiones Caribe y Andina pueden haberse debido a algunos factores sociales que aún no se evalúan de manera sistemática y simultánea en relación con la ocurrencia de la enfermedad. Este primer acercamiento, usando el indicador de % NBI da una idea general de la situación de la población en riesgo, pero en trabajos posteriores se deberán incluir las condiciones particulares del país, tales como las condiciones de desplazamiento y cultivos ilícitos que provocan la migración de personas, con distintos niveles de inmunidad, entre zonas endémicas y no endémicas.

En términos de la administración de recursos para la salud pública, la identificación de la participación de cada departamento en la caracterización de las zonas endémicas facilita la acción de las direcciones seccionales de salud departamentales involucradas y requerirá un esfuerzo colectivo entre ellas para un mejor control de la enfermedad.

El paso del análisis estático realizado al seguimiento permanente de los aspectos analizados se facilita por la organización de los datos en una base de datos espacial usando una aplicación SIG, que permite hacer de una manera relativamente simple el ingreso de los datos que el INS genera por semana epidemiológica. Este seguimiento no sólo fortalecería al Instituto para la toma de decisiones, sino que permitiría la asignación de recursos nacionales e internacionales para mejorar el conocimiento de los distintos aspectos de la complejidad de las relaciones

entre las poblaciones humanas y las del vector y de éstas con el medio físico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÁRDENAS, Rocío; SANDOVAL, Claudia; RODRÍGUEZ, Alfonso and FRANCO, Carlos. 2006. Impact of climate variability in the occurrence of leishmaniasis in northeastern Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 75(2): 273-277.
- CÁRDENAS, Rocío; SANDOVAL, Claudia; RODRÍGUEZ, Alfonso; HERNÁNDEZ, Dalila; JAIMES, Édgar y MENDOZA, José Gregorio. 2004. Medio ambiente y protozoosis sistémicas: II. Características fisiográficas del entorno y su asociación en la leishmaniasis visceral. *Academia*, 3: 35-40.
- CARMONA, Jaime. 2003. La malaria en Colombia, Antioquia y las zonas de Urabá y Bajo Cauca: panorama para interpretar la falla terapéutica antimalárica. *IATREIA*, Vol. 16, No. 4.
- CECCATO, Pietro; GHEBREMESKEL, Tewolde; JAITEH, Malanding; GRAVES, Patricia; LEVY, Marc; GHEBRESELASSIE, Shashu; OGBAMARIAM, Andom; BARNSTON, Anthony; BELL, Michael; DEL CORRAL, John; CONNOR, Stephen; FESSEHA, Isaac; BRANTLY, Eugene and THOMSON, Madeleine. 2007. Malaria stratification, climate, and epidemic early warning in Eritrea. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 77(6): 61-68.
- CONSERVATION INTERNATIONAL (CI). 2008. Piloto nacional integrado de adaptación. [http://www.conservation.org.co/filesdn/Brochure%20INAP%20\\_esp%C3%B1ol\\_.pdf](http://www.conservation.org.co/filesdn/Brochure%20INAP%20_esp%C3%B1ol_.pdf)
- CONN, Jan; WILKERSON, Richard; SEGURA, M. Nazaré; DE SOUZA, Raimundo; SCHLITCHTING, Carl; WIRTZ, Robert and POVOA, Marinete. 2002. Emergence of a new neotropical malaria vector facilitated by human migration and changes in land use. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 66(1): 18-22.
- CONNOR, Stephen and THOMSON, Madeleine. 2001. The development of malaria early warning systems for Africa. *Trends in Parasitology*, Vol. 17(9): 438-445.
- CONNOR, Stephen. 2005. Climate and environmental monitoring applications in epidemic early warning. En: *Remote Sensing and the Control of Infectious Diseases: Proceedings from an Interamerican Workshop*, Cavalcanti and Pinheiro, organizers. Rio de Janeiro, 2005.

- CONNOR, Stephen and THOMSON, Madeleine. 2005. Epidemic malaria: preparing for the unexpected. SciDevNet: Policy briefs. <http://scidev.net/en/south-east-asia/policy-briefs/epidemic-malaria-preparing-for-the-unexpected.html>
- CORRÊA, Marcelo. 2005. The use of meteorological satellites for the improvement of human health. En: Remote Sensing and the Control of Infectious Diseases: Proceedings from an Interamerican Workshop, Cavalcanti and Pinheiro, organizers. Rio de Janeiro, 2005.
- CORVALÁN, Carlos. 2007. Climate change and human health. Bulletin of the World Health Organization, Vol. 85(11) 821-900. <http://www.who.int/entity/bulletin/volumes/85/11/en/>
- CROSS, Eleanor and HYAMS, Kenneth. 1996. The potential effect of global warming on the geographic and seasonal distribution of *Phlebotomus papatasi* in southwest Asia. Environmental Health Perspectives, Vol. 104(7): 724-727.
- DANE, 2005. Censo 2005. <http://www.dane.gov.co/censo/>
- DELGADO, Laura; RAMOS, Santiago; MARTÍNEZ, Néstor y GARCÍA, Pedro. 2003. Ecología de paisajes, sensores remotos y sistemas de información geográfica: nuevas perspectivas para el manejo de problemas en salud pública, caso particular la malaria en el estado Sucre, Venezuela. Acta Científica Estudiantil, Vol. 1(4): 128-142.
- EISEN, Rebecca J. and EISEN, Lars. 2008. Spatial modelling of human risk of exposure to vector-borne pathogens based on epidemiological versus arthropod vector data. Journal of Medical Entomology, Vol. 45(2): 181-192.
- ESGUERRA, Roberto. 2007. Proyecto "Así Vamos en Salud". Fundación Santa Fe de Bogotá. <http://www.asivamosensalud.org/>
- EPSTEIN, Paul. 2000. Is global warming harmful to health? Scientific American. <http://www.sciam.com/article.cfm?id=is-global-warming-harmful>.
- EPSTEIN, Paul; DÍAZ, Henry; ELIAS, Scott; GRABHERR, Georg; GRAHAM, Nicholas; MARTENS, William; MOSLEY-THOMPSON, Ellen and SUSSKIND, Joel. 1998. Biological and physical signs of climate change: focus on mosquito-borne diseases. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79 (3).
- FARROW, Andrew; LARREA, Carlos; HYMAN, Glenn and LEMA, Germán. 2005. Exploring the spatial variation of food poverty in Ecuador. <http://www.ciat.cgiar.org>
- GITHEKO, Andrew; LINDSAY, Steve; CONFALONIERI, Ulisses y PATZ, Jonathan. 2000. El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. Salud y medio ambiente. Bulletin of the World Health Organization, Vol. 78 (9): 1136-1147.
- GUBLER, Duane; REITER, Paul; EBI, Kristie; YAP, Wendy; NASCI, Roger and PATZ, Jonathan. 2001. Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector and rodent-borne diseases. Environmental Health Perspectives, Vol. 109(2 supl.): 223-233.
- GUERRA, Carlos; GIKANDI, Priscilla; TATEM, Andrew; NOOR, Abdusalán; SMITH, Dave; HAY, Simon and SNOW, Robert. 2008. The limits and intensity of *Plasmodium falciparum* transmission: implications for malaria control and elimination worldwide. PLoS Medicine, Vol. 5(2): 300-311. <http://www.plosmedicine.org>
- GUERIN, Philippe J.; OLLIARO, Piero; NOSTEN, François; DRUILHE, Pierre; LASMINARAYAN, Ramanan; BINKA, Fred; KILAMA, Wen; FORD, Nathan and WHITE, Nicholas J. 2002. Malaria: current status of control, diagnosis, treatment, and a proposed agenda for research and development. The Lancet Infectious Diseases, Vol. 2(9): 564-573.
- HYMAN, Glenn; LARREA, Carlos and FARROW, Andrew. 2005. Methods, results and policy implications of poverty and food security mapping assessments. <http://www.ciat.cgiar.org>
- IGAC, 2008. Regiones naturales de Colombia. <http://www.igac.gov.co>
- INS, 2000. Situación actual de las enfermedades transmisibles en Colombia y propuesta organizativa. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional 2000, No. 5.
- McCABE, Gregory and BUNNELL, Joseph. 2004. Precipitation and the occurrence of lyme disease in the Northeastern United States. Vector-Borne and Zoonotic Diseases, Vol. 4(2), pp. 143-148.
- MINOT, Nicholas and BAULCH, Bob. 2005. Spatial patterns of poverty in Vietnam and their implications for policy. <http://www.ciat.cgiar.org>
- MOSS, Richard. 2006. Improving information for managing an uncertain future climate. Global Environmental Change, Vol. 17: 4-7. <http://www.sciencedirect.com>
- NICHOLLS, Santiago. 2006. La investigación en enfermedades transmitidas por vectores y la toma de decisiones en el sector salud. Ponencia al I Congreso Nacional de Investigación en Salud Pública "Investigación para la toma de decisiones en el sector salud", Acoesp-Universidad Javeriana. Bogotá.



- OLANO, Víctor A.; BROCHERO, Helena L.; SÁENZ, Roberto; QUIÑONES, Martha L. y MOLINA, Jorge A. 2001. Mapas preliminares de la distribución de especies de Anopheles vectores de malaria en Colombia. *Biomédica*, Vol. 21(4): 402-408.
- OMS, 2008. Organización Mundial de la Salud. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/index.html>
- ONU, 2008. Objetivos de desarrollo del milenio. [http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/goal\\_6.html](http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/goal_6.html)
- OPS, 2007. Día del Paludismo en las Américas-Malaria: Más cerca de lo que usted cree. [http://www.paho.org/Spanish/DD/PIN/ahora04\\_dic07.htm](http://www.paho.org/Spanish/DD/PIN/ahora04_dic07.htm)
- PATTANAYAK, Subhrendu; DICKINSON, Katherine; COREY, Catherine; MURRAY, Brian; SILLS, Erin and KRAMER, Randall. 2006. Deforestation, malaria, and poverty: a call for transdisciplinary research to support the design of cross-sectoral policies. *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, Vol. 2(2): 45-56.
- PATZ, Jonathan; GRACZYK, Thaddeus K.; GELLER, Nina and VITTOR, Amy Y. 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology*, 30(12-13):1395-405.
- POVEDA, Germán; ROJAS, William; QUIÑONES, Martha L.; VÉLEZ, Iván Darío; MANTILLA, Ricardo; RUIZ, Daniel; ZULUAGA, Juan and RÚA, Guillermo. 2001. Coupling between annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109(5): 489-493.
- RODRÍGUEZ, Alfonso. 1991. Situación de la malaria en Colombia. *Biomédica*, Vol. 11(11): 31-35.
- RONGNOPARUT, Pornpimol; UGSANG, Donald; BAIMAI, Visut; HONDA, Kiyoshi and SITHIPRASASNA, Ratana. 2005. Use of remote sensing-based geographic information system in the characterizing spatial patterns for Anopheles minimus a and c breeding habitats in western Thailand. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine of Public Health*, Vol. 35(5): 1145-1152.
- SACHS, Jeffrey and MALANAAY, Pia. 2002. The economic and social burden of malaria. *Nature*, Vol. 415(6872): 680-685.
- SNOW, Robert; GUERRA, Carlos; NOOR, Abdisalan; MYINT, Hla and HAY, Simon. 2005. The global distribution of clinical episodes of Plasmodium falciparum malaria. *Nature*, Vol. 434: 214-217.
- THE NATIONAL ACADEMIES PRESS (NAP). 1991. Malaria: obstacles and opportunities. Oaks, S.; Mitchell, V.; Pearson, G. and Carpenter, C. (eds.). National Academy Press. Committee for the Study on Malaria Prevention and Control, Division of International Health. [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=1812](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=1812).
- WARREL, David and GILLES, Herbert. 2002. *Essential malariology*. Arnold, London. 348 p.
- WHO, 2002. *Malaria entomology and vector control: Learner's Guide*. 114 p.
- ZAPATA, Carlos Hugo y BLAIR, Silvia. 2003. Malaria cerebral. *IATREIA*, Vol. 16, No. 3.