

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS VECTORES DE MALARIA Y
SU RELACION CON VARIABLES AMBIENTALES EN EL MUNICIPIO SIFONTES
DEL ESTADO BOLIVAR, VENEZUELA

Jorge Ernesto Moreno

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto
de Zoología Agrícola.
Maracay, Julio de 2012

Tesis presentada ante la ilustre Universidad Central de Venezuela
como requisito final para optar al título de doctor en Ciencias Mención
Entomología

Tutora:

Dra. Yasmín Rubio Palis

Comité Consejero:

Dra. Nereida Delgado Puchi

Dr. Jesús Berti Moser

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Primero que nada a Dios todo poderoso, por haberme dado inteligencia y salud para alcanzar este logro.

A mi familia, Ángela, Angi, Abi, Carmen Julia y Jorgito, por proporcionarme el marco emocional y la estabilidad que todo ser humano necesita para lograr metas

A mi tutora, Yasmín Rubio, por sus acertados y oportunos consejos, su gran confianza en mí y, sobre todo, por su inmensa paciencia para conmigo

Muy especialmente a mis técnicos preferidos, Porfirio Acevedo y Víctor Sánchez, por su acompañamiento y soporte técnico, cada uno dentro de sus habilidades, y hasta por sus sabias opiniones en el momento oportuno

Al IAES Dr. Arnoldo Gabaldon, Escuela de formación de venezolanos integrales, por haberme dado la oportunidad de desarrollarme y haberme facilitado financiamiento y soporte físico para realizar el trabajo

A la Universidad central de Venezuela, por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas

A Malariología del estado Bolívar, por su apoyo incondicional y soporte técnico siempre cuando lo requerí

A Venezuela, tierra fecunda en oportunidades que se brinda generosa sin pedir nada a cambio, corresponde a nosotros retribuirla con el trabajo de todos los días para hacerla cada día más grande

A toda la gente del municipio Sifones quienes generosamente, como es habitual en el pueblo venezolano, me abrieron las puertas de sus casas y me dieron facilidades para que realizara el trabajo

Por último, pero no menos importante, quiero dedicar esta tesis a la memoria del doctor Arnoldo Gabaldon, quien siempre me estimulo a perseguir metas altas y me transmitió el amor por sus dos grandes pasiones, la Malariología y Venezuela, gracias maestro

A todos quienes de una u otra manera tuvieron que ver con esto

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	6
AREA DE ESTUDIO.....	7
CAPITULO I. REVISIÓN DE CONOCIMIENTOS EXISTENTES.....	10
1. El cambio climático global y la malaria.....	10
2. El estudio de la relación malaria clima.....	14
3. Bionomía de los vectores de malaria en el área de estudio.....	16
4. Ecología de las larvas de anofelinos.....	20
5. Distribución espacial y temporal de las poblaciones de anofelinos.....	23
6. Dispersión de las poblaciones de anofelinos.....	27
7. Uso de mapas de distribución de anofelinos.....	29
CAPÍTULO II. ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE LA RELACIÓN MALARIA-CLIMA.....	34
1. Introducción.....	34
2. Materiales y métodos.....	35
2.1 Manejo de los datos de malaria y clima.....	35
2.2 Análisis de regresión múltiple.....	36
2.3 Análisis de series de tiempo.....	37
3. Resultados.....	38
3.1 Comportamiento del clima en el lapso 1993-2005.....	38

3.2 Comportamiento anual de la malaria en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010.....	50
3.3 Comportamiento de la malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1980-2010.....	55
3.4 Análisis de la relación de la malaria con el clima.....	61
3.4.1 Análisis de regresión múltiple de los promedios de malaria versus variables climáticas.....	61
3.4.2 Análisis de correlación simple de los promedios semanales de malaria versus variables climáticas.....	65
3.4.3 Análisis de series de tiempo de malaria versus clima a escala mensual.....	69
3.4.4 Análisis de series de tiempo de malaria versus clima a escala semanal.....	75
3.4.5 Correlaciones cruzadas con rezago.....	77
3. Discusión.....	83
4. Conclusiones.....	106
CAPÍTULO III. ESTUDIO DE LAS FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE ANOFELINOS.....	108
1. Introducción.....	108
2. Materiales y métodos.....	111
2.1 Muestreo de criaderos de anofelinos.....	111

2.2	Identificación de especies de anofelinos.....	112
2.3	Caracterización de la precipitación en el municipio Sifontes en el lapso de estudio.....	113
2.4	Estudio de las fluctuaciones poblacionales y su relación con variables climática.....	115
2.5	Estudio de la distribución espacial de las especies de anofelinos en el hábitat y micro hábitat.....	116
3.	Resultados.....	119
3.1	Descripción de los criaderos.....	119
3.2	Abundancia de anofelinos por tipo de criadero.....	129
3.3	Fluctuación poblacional de las larvas de anofelinos.....	134
3.4	Distribución espacial de las larvas de anofelinos en el microhábitat.....	146
4.	Discusión.....	152
5.	Conclusiones.....	174
CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESPECIES DE ANOFELINOS EN EL MUNICIPIO SIFONES.....		178
1.	Introducción.....	178
2.	Materiales y métodos.....	181
2.1	Inventario de especies de anofelinos.....	181
2.2	Estimación de densidad larvaria.....	182
2.3	Elaboración de mapa de cobertura vegetal.....	182

2.4 Construcción de mapas temáticos de distribución de anofelinos y localidades.....	185
3. Resultados.....	186
3.1 Distribución y abundancia de las especies de anofelinos en el microhábitat.....	186
3.2 Mapa de localidades maláricas en el municipio Sifontes.....	188
3.3 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra.....	193
3.4 Mapas de distribución de las especies de anofelinos en el municipio.....	196
4. Discusión.....	205
5. Conclusiones.....	215
CONCLUSIONES GENERALES.....	217
RECOMENDACIONES.....	219
BIBLIOGRAFIA.....	220

INDICE DE FIGURAS

Introducción general

Figura 1.1. Ubicación relativa del municipio Sifontes del estado Bolívar en Venezuela y localización de los criaderos muestreados durante el estudio longitudinal.....9

Capítulo II

Figura 2.1. Precipitación acumulada anual en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar41

Figura 2.2. Precipitación acumulada mensual promedio en el lapso 1993-2005 en el Municipio Sifontes del estado Bolívar.....41

Figura 2.3. Promedios mensuales de temperatura en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....45

Figura 2.4. Promedios mensuales de humedad relativa en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....45

Figura 2.5. Mapa de la Cuenca hidrográfica Cuyuní-Yuruarí en el municipio Sifontes del estado Bolívar48

Figura 2.6. Nivel del río mensual promedio (m) en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....49

Figura 2.7. Insolación mensual promedio en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....49

Figura 2.8. Casos acumulados anuales de malaria en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010.....	53
Figura 2.9. Proporción anual de casos autóctonos de malaria en el estado Bolívar en el lapso 1995-2010.....	53
Figura 2.10. Casos anuales de malaria por especie de <i>Plasmodium</i> en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010.....	54
Figura 2.11. Proporción de casos de <i>Plasmodium falciparum</i> con respecto a <i>P. vivax</i> en el estado Bolívar 1980-2010.....	54
Figura 2.12. Casos de malaria en el estado Bolívar y el municipio Sifontes en el lapso 1980-2010.....	58
Figura 2.13. Serie de tiempo de los casos mensuales de malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1995-2010.....	60
Figura 2.14. Promedios mensuales de malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1990-2010.....	60
Figura 2.15. Promedios semanales de los casos de malaria y precipitación en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005.....	67
Figura 2.16. Promedios semanales de los casos de malaria y precipitación en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2003.....	68
Figura 2.17. Promedio semanales de los casos de malaria y precipitación estandarizados en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005.....	68

Figura 2.18. Promedios mensuales de los casos de malaria y precipitación acumulada en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005.....	72
Figura 2.19. Casos mensuales de malaria y precipitación acumulada en el municipio Sifontes lapso 1993-2005.....	73
Figura 2.20. Casos mensuales de malaria y nivel del río en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005.....	74
Figura 2.21. Acumulados semanales de malaria y lluvia durante el lapso enero 1993 a mayo 2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	76
Figura 2.22. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial para la serie semanal de los casos de malaria en el lapso 1993-2003 con rezago de 48 semanas.....	79
Figura 2.23. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la precipitación y el nivel de río en el lapso 1993-2003	80
Figura 2.24. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la temperatura máxima y la temperatura mínima en el lapso 1993-2003	81
Figura 2.25. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la temperatura media y la humedad relativa media en el lapso 1993-2003.....	82
 Capítulo III	
Figura 3.1. Caracterización histórica de la precipitación y lluvia caída en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003 en el municipio Sifones del estado Bolívar.....	115
Figura 3.2. Criadero natural tipo laguna completamente expuesto al sol.....	126

Figura 3.3. Charca típica de origen antropico en medio del bosque y parcialmente sombreada.....126

Figura 3.4. Criadero tipo herbazal cubierto completamente de vegetación homogénea tipo *Eleocharis* y totalmente expuesto al sol.....127

Figura 3.5. Criadero tipo río formado por acumulación de vegetación flotante en el centro y orilla del río Yuruarí durante la época de lluvias, la época de sequía y detalle de cúmulo de *Pistia stratiotes* en la orilla.....127

Figura 3.6. Criadero tipo caño o quebrada de corriente lenta y agua ámbar en área boscosa completamente sombreada.....128

Figura 3.7. Pantano arbustivo en área inundable no ribereña y parcialmente a la sombra.....128

Figura 3.8. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en el municipio Sifontes del estado Bolívar. Septiembre 2002-diciembre 2003.....137

Figura 3.9. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en criaderos de aguas estancadas en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....138

Figura 3.10. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en criaderos de aguas con corriente en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....138

Figura 3.11. Lluvia y abundancia mensual de larvas de *An. triannulatus* y *An. marajoara* en lagunas, charcas y herbazales en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....143

Figura 3.12. Lluvia y abundancia mensual de larvas de <i>Anopheles marajoara</i> y <i>An. braziliensis</i> en laguna y herbazal en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....	143
Figura 3.13. Lluvia y abundancia mensual de larvas de <i>Anopheles darlingi</i> y <i>An. nuneztovari</i> en charcas en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....	144
Figura 3.14. Lluvia y abundancia mensual de <i>Anopheles darlingi</i> en criaderos estancados y con corriente en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....	144
Figura 3.15. Lluvia y abundancia mensual de <i>Anopheles triannulatus</i> en criaderos estancados y con corriente en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....	145
Figura 3.16. Lluvia y Abundancia mensual de <i>Anopheles oswaldoi</i> en criaderos estancados y con corriente en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003.....	145
Figura 3.17. Diagrama de ordenacion de las especies de anofelino con respecto al tipo y dinámica hídrica del criadero.....	149
Figura 3.18. Diagrama de ordenacion de las especies de anofelino con respecto a los tipos de vegetacion y luz presentes en el sitio de inmersión del cucharón.....	151

Capítulo IV

Figura 4.1. Mapa de vegetación original del municipio Sifontes del estado Bolívar con 57 categorías de bosque o cobertura vegetal.....	184
Figura 4.2. Mapa ubicación de localidades del municipio Sifontes del estado Bolívar por parroquia con casos de malaria acumulados en el lapso 2005-2011.....	191

Figura 4.3. Área de explotación aurífera en las cuencas media y alta del río Cuyuní y sus afluentes, en las parroquias Dalla Costa y San Isidro, con casos de malaria acumulados por localidad en el lapso 2005-2011.....	192
Figura 4.4. Imagen satelital tomada de Google earth, del área de explotación aurífera de Las Claritas, en la cual se aprecia el impacto de la actividad minera en el bosque, el suelo y la hidrología superficial.....	194
Figura 4.5. Mapa de vegetación del municipio Sifontes del estado Bolívar simplificado a 15 categorías de bosque o cobertura vegetal.....	195
Figura 4.6. Mapa de distribución de las larvas de anofelinos de todas las especies en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	199
Figura 4.7. Mapa de distribución de larvas de <i>Anopheles triannulatus</i> en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	200
Figura 4.8. Mapa de distribución de larvas de <i>Anopheles marajoara</i> en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	201
Figura 4.9. Mapa de distribución de larvas de <i>Anopheles darlingi</i> en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	202
Figura 4.10. Mapa de distribución de larvas de <i>Anopheles nuneztovari</i> en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	203
Figura 4.11. Mapa de distribución de larvas de <i>Anopheles oswaldoi</i> en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	204

INDICE DE TABLAS

Capítulo II

Tabla 2.1. Caracterización histórica mensual promedio del clima para el lapso 1993-2005 en el Municipio Sifontes del estado Bolívar.....	40
Tabla 2.2. Precipitación acumulada mensual para el lapso 1993 a 2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar.....	43
Tabla 2.3. Distribución de los casos de malaria anuales en el estado bolívar por municipio en el lapso 1990 a 2010.....	59
Tabla 2.4. Resultados del análisis de regresión múltiple completo de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2003.....	64
Tabla 2.5. Resultados del análisis de regresión múltiple parcial de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2003.....	64
Tabla 2.6. Resultados del análisis de regresión múltiple completo de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2005.....	65
Tabla 2.7. Valores del coeficiente de correlación Producto-Momento de Pearson entre los promedios semanales de malaria y variables climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes.....	69
Tabla 2.8. Valores del coeficiente de correlación Producto-momento de Pearson entre la serie mensual de malaria y las variables climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes.....	73

Tabla 2.9. Resultados del análisis de correlación con rezago para uno y dos meses de la serie mensual de malaria y las variables climáticas medidas en la estación Anacoco en el lapso 1993-2003.....74

Tabla 2.10. Valores del coeficiente de correlación Producto-momento de Pearson entre la serie de malaria semanal y las series climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes.....76

Capítulo III

Tabla 3.1. Número de especies de anofelino presentes y número total de larvas colectadas por tipo de criadero.....133

Tabla 3.2. Número total de larvas identificadas por tipo de criadero para cada especie de *Anopheles*.....133

Tabla 3.3. Coeficientes de correlación de Spearman de las larvas de *Anopheles spp.* con variables climáticas para criaderos estancados, con corriente y todos los criaderos.....137

Tabla 3.4. Autovalores y varianza explicada por el Análisis de Correspondencia Canónica de las especies de anofelinos con respecto al tipo y dinámica hídrica del criadero.....149

Tabla 3.5. Autovalores y varianza explicada por el Análisis de Correspondencia Canónica de las especies de anofelinos con respecto a variables de luz y vegetación151

Capítulo IV

Tabla 4.1. Cantidad de larvas de *Anopheles* colectadas por especie y tipo de criadero.....188

RESUMEN

El municipio Sifontes del estado Bolívar es la principal área endémica a malaria de Venezuela. Durante los últimos siete años se ha reportado un promedio anual de 17.582 casos, alcanzándose la cifra de 28.143 casos en 2011, representando 72% de malaria originada en el estado, lo que constituye una situación de epidemia. Esta situación se deriva de la problemática social combinada con los problemas técnicos y administrativos del programa de control. Por otro lado, la influencia del clima, agravada por el cambio climático global, tiene un profundo impacto sobre la morbilidad malárica al afectar los patrones de distribución espacial y temporal de los vectores. Con la finalidad de describir la distribución espacial y temporal de los vectores de malaria y su relación con las variables ambientales en el municipio Sifontes del estado Bolívar, se realizó un estudio en tres etapas. En la primera se hizo un análisis retrospectivo de la relación entre el clima y la malaria en el municipio en la búsqueda de un modelo que explique la relación, en la segunda se hizo un estudio prospectivo de las fluctuaciones poblacionales de larvas de anofelinos y su relación con variables climáticas y ambientales en el micro hábitat, y en la tercera se construyeron mapas de distribución espacial de anofelinos relacionándolos con la vegetación y uso de la tierra. De la interpretación de estos tres aspectos se concluyó que los factores sociales, climáticos y ambientales juegan un papel determinante en las variaciones temporales y espaciales de las poblaciones de los anofelinos vectores de malaria en el municipio.

ABSTRAC

The municipality of Sifontes of Bolivar state is the main malaria endemic area in Venezuela. During last seven years an annual average of 17,582 cases has been reported in this area, reaching the top number of 28,143 cases in 2011, representing 72% of malaria in state, which constitutes an epidemic situation. This picture is derived from social problematic combined with technical and administrative problems of malaria control program. Moreover, the climate influence aggravated for global climate change, to have a strong impact over malaria morbidity affecting spatial and temporal distributions pattern of malaria and vectors. In order to describe the spatial and temporal distributions of malaria vectors and its relationships with environmental variables in the Sifontes municipality, the following three phases study was carried out. In first phase, retrospective analysis on climate-malaria relationships was conducted in order to looking for a model to explain such relation, in the second a prospective study on anopheline larvae population fluctuation and its relationships with climatic and environmental variables in the microhabitat was realized. In third phase, maps over anophelines spatial distributions and land cover were building, and linking these with vegetation and land use. Starting from interpretation of these three aspects was concluded that social factors, climatic and environmental play a determinant role on temporal and spatial variations of malaria vectors anopheline populations in the municipality.

INTRODUCCION GENERAL

La malaria es de naturaleza endemo-epidémica en el estado Bolívar. Los brotes epidémicos son frecuentes en el estado debido a causas naturales y antrópicas. Entre 1988 y 1991 se produjo una epidemia que tuvo un promedio de 26.328 casos anuales, registrándose en 1989 una cifra tope de 23 muertes. En el decenio comprendido entre 1993 y 2003 hubo un descenso significativo en la casuística, con un promedio anual de 8.349 casos, de los cuales en promedio 29% correspondió a *Plasmodium falciparum* [Servicio de Vigilancia Epidemiológica del Estado Bolívar (SVEEB), 1993-2003]. Durante los últimos nueve años la situación ha empeorado registrándose en promedio 28.557 casos anuales, de ellos en promedio 78% correspondió a *P. vivax*, 20% a *P. falciparum* y 2% a infecciones mixtas, cerrando al final del periodo el año 2011 con 39.300 casos [Servicio de Vigilancia Epidemiológica del Estado Bolívar (SVEEB), 2003-2011; DGSA 2011)

El Municipio Sifontes, ubicado en el noreste del estado Bolívar, es considerado uno de los principales focos maláricos de Venezuela. Entre 1993 y 2003, el periodo de baja malaria, fue reportado en este municipio un promedio anual de 3.242 casos de malaria, representando esa cifra en promedio 40% de la malaria del estado [Servicio de Vigilancia Epidemiológica del Estado Bolívar (SVEEB), 1993-2003]. En los últimos ocho años se ha registrado en esta área un aumento considerable de los casos, superando la casuística por mucho el nivel de epidemia, comenzando por un incremento de 5.273 a 14.657 casos de 2003 a 2004, produciéndose durante el periodo más de 17 mil casos por año, y

culminando 2011 con la cifra record de 28.143 casos, equivalente a 72% de la malaria del estado [Servicio de Vigilancia Epidemiológica del Estado Bolívar (SVEEB), 2004-2011]. Esta región pertenece al área malárica meridional de Venezuela, que incluye los estados Bolívar y Amazonas situados ambos al sur del país, en la frontera con Brasil y Guyana. Este es un foco meso-endémico de malaria inestable, donde la transmisión ocurre durante todo el año con brotes epidémicos provocados principalmente por factores antrópicos, representados en la explotación artesanal de oro de aluvión. Por tal motivo esta zona es considerada de alto riesgo a malaria (Aché 1998). Eco-epidemiológicamente está clasificada como malaria de bosques bajos interiores (Rubio-Palis y Zimmerman 1997).

La actividad económica principal de la región, la minería aurífera, parece estar íntimamente relacionada con la morbilidad malárica, debido a la fuerte intervención ambiental propiciada por el uso inadecuado de la tierra. La alteración del suelo crea ambientes propicios para la cría de anofelinos y a la vez induce cambios en el patrón de comportamiento de las especies. Debido a la estrecha relación entre minería y malaria, ésta ha sido catalogada en la zona como una enfermedad ocupacional (Aché 1998). Al igual que en otras regiones, en la variabilidad de la malaria de esta área, se conjugan una serie de factores ambientales y sociales tales como clima, vectores, parásitos y poblaciones humanas (Haines & McMichael 1997, McMichael & Haines 1997)

De manera concomitante, las estrategias clásicas de control de vectores, fundamentadas en el rociamiento intradomiciliario y las nebulizaciones

espaciales de insecticidas, han resultado insuficientes para resolver el problema, debido principalmente al comportamiento exofílico de los vectores y al fenómeno de la resistencia a los insecticidas, principalmente al DDT y a los piretroides (Molina et al. 1997). A estos factores técnicos, se le suman factores sociales propios de las comunidades mineras, tales como viviendas provisionales que no poseen superficies adecuadas para el rociamiento, hábitos laborales que los exponen a ser picados por anofelinos y alta movilidad. Esta problemática crea la necesidad de profundizar en el estudio de la dinámica de la transmisión y la ecología de los vectores, con la finalidad de diseñar nuevas estrategias de control, preferiblemente dentro de un enfoque de control integrado. En este sentido, desde 1998 se vienen ejecutando en el área una serie de estudios con el fin de conocer mejor la bionomía y ecología de los anofelinos en el área, acompañados de estudios epidemiológicos. Estos estudios se fundamentan en la idea de que los sistemas de integración de herramientas de control están basados en la comprensión ecológica del lugar donde viven las especies vectoras (Berti & Zimmerman 1998).

La presente investigación parte de las premisas expuestas anteriormente. Es decir, la combinación de factores ambientales, climáticos y sociales que afectan la abundancia y distribución de las especies de anofelinos vectores lo cual afecta a su vez las variaciones en la morbilidad por malaria. De ser así, *debe existir una estrecha asociación entre la distribución espacial y temporal de los anofelinos y las variables ambientales, climáticas y de origen antropico, en el municipio Sifones del estado Bolívar.* Este trabajo busca

describir esa relación, y encontrar respuesta a la variación de la morbilidad y persistencia de la malaria en el municipio, a través del estudio de la dispersión y fluctuación poblacional de los anofelinos y su relación con algunas variables ambientales y antrópicas. Sobre la hipótesis anterior se argumenta que; en primer lugar, *la variación estacional de las poblaciones de anofelinos y es un fenómeno estrechamente asociado con la variación del clima, particularmente con la lluvia, y que indiscutiblemente esto tiene un efecto importante sobre la morbilidad por malaria;* y en segundo lugar, *que el patrón de composición de las especies de anofelinos y la densidad poblacional varían a medida que varía el paisaje del municipio, debido a cambios en la cobertura vegetal provocados principalmente por la actividad humana, y que esto causa variaciones en la intensidad y distribución de la malaria.*

En un sentido más amplio, la relación entre el clima y la malaria debe verse reflejada en las variaciones interanuales de la enfermedad. De ser esto cierto, debe encontrarse una relación significativa en las variaciones interanuales de la malaria y las variaciones correspondientes del clima, al analizarse una serie larga de tiempo. Luego de una breve revisión de los conocimientos existentes sobre el tema de esta tesis presentada en el capítulo I, este enfoque se revisa en el segundo capítulo, a través del análisis retrospectivo de datos de clima y malaria, mediante el cual se busca un modelo que explique la variabilidad temporal de la endemia en el municipio. En otras palabras, en este estudio se busca para el municipio Sifones, la confirmación de un fenómeno que han sido descrito en otros lugares; cuya única constante

es precisamente la variabilidad regional, lo que demanda estudios *in situ* para dar respuestas particulares a las preguntas generadas en cada sitio en particular. En el tercer capítulo de este trabajo se intenta describir la relación de los mosquitos con el clima, cuya naturaleza y signo es desconocida en esta región, mediante un estudio longitudinal de las fluctuaciones poblacionales de las larvas de anofelino, su relación con las variables en el micro hábitat y con algunas variables climáticas. Al respecto, se ha descrito que la relación del clima con los mosquitos y malaria varia de una región a otra, de acuerdo a las particularidades ambientales y climáticas de cada región. Esto nos plantea la interrogante acerca de cuál es el efecto del clima, particularmente la lluvia, sobre las poblaciones de diferentes especies de anofelinos en el municipio Sifontes. En el cuarto capítulo de este estudio se expone la distribución espacio-temporal de la malaria en el municipio Sifontes y se explora la asociación entre la malaria, los vectores y factores ambientales en esta región mediante la construcción de mapas temáticos de distribución de anofelinos y de vegetación a escala de paisaje. Este es un estudio piloto que deberá servir como punto de partida para la elaboración de un programa de control integrado de vectores, sólidamente fundamentado en el conocimiento de los factores eco-epidemiológicos de la enfermedad, y en el cual la implementación de sistemas de información geográfica podría ser una parte fundamental.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la distribución espacial y temporal de los vectores de malaria con el objeto de explorar su relación con las variables ambientales y la morbilidad malárica en el municipio Sifontes del estado Bolívar.

Objetivos específicos

1. Actualizar el inventario de especies de anofelinos y la distribución espacial de los vectores de malaria, según la fisiogeografía del municipio Sifontes y su relación con la distribución espacial de la endemia.
2. Evaluar las fluctuaciones poblacionales en los criaderos de los principales vectores de malaria del municipio Sifontes del estado Bolívar y su relación con variables ambientales de clima, bióticas y abióticas.
3. Realizar un análisis retrospectivo del comportamiento de la morbilidad malárica en el municipio Sifontes y su relación con algunas variables climatológicas en un lapso definido.
4. Sistematizar la información entomológica, epidemiológica y climatológica del municipio en mapas que permitan estratificar áreas de riesgo a contraer malaria.

ÁREA DE ESTUDIO

El municipio Sifontes del estado Bolívar abarca 24.392 km² y está ubicado en el extremo oriental de este estado (lat 6° 00' – 7° 54' N, long 60° 44' – 61° 39' W) (Figura 1). Desde el punto de vista del relieve, en este municipio se distinguen dos tipos de paisaje: sabanas al norte, en el área Tumeremo (Área TUM) en la cuenca del río Yuruari y llanos cubiertos por selva al sur en el área El Dorado (Área ELD) en la cuenca del río Cuyuní, ambos incluidos dentro de la región fisiogeográfica Sabanas de Guayana, que son áreas de sabanas con topografía ondulada de variada intensidad, cuya altura varía entre 200 y 500 m.s.m. (Hernández 1987). Este territorio abarca casi en su totalidad la cuenca del Cuyuní-Yuruari, formada por la confluencia de dos ríos del mismo nombre y que tiene una extensión de 50.000 km², de los cuales aproximadamente 12.000 se encuentran fuera del territorio venezolano (Figura 1.1). Propiamente se trata de tres cuencas: la del río Yuruari, la del Cuyuní hasta la confluencia con el Venamo y la del Botanamo (Hernández 1987).

Según la clasificación de Koeppen, referida por Hernández (1987), esta zona presenta un tipo climático de sabana, con ocho a nueve meses de lluvia en el área TUM, y un piso superior en la cuenca del Cuyuní, en el sureste hacia la frontera con Guyana en el área ELD. Los datos climatológicos suministrados por las estaciones del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR 1993-2003) ubicadas en TUM y Anacoco en ELD, reportan lluvias durante todo el año, con una temporada lluviosa entre abril y septiembre con un pico en Junio, y una temporada seca o menos lluviosa entre

octubre y marzo. En el decenio 1993-2003 la estación Tumeremo registró un acumulado anual promedio de 1276 mm de lluvia y la estación de Anacoco 1472 mm. La temperatura media mensual para el mismo periodo fluctuó entre 22 y 26 °C. Según la clasificación de Holdridge, referida por Hernández (1987) la zona está dominada por vegetación tipo bosque húmedo y sabanas. Se distinguen dos categorías de bosque: bosque medio al norte y oeste del municipio y bosque denso al sureste en el área ELD. Desde el punto de vista eco-epidemiológico la zona entra en la categoría de malaria en bosques bajos interiores (Rubio-Palis & Zimmerman, 1997). El área se encuentra considerablemente afectada por actividades antrópicas tales como la minería, la explotación maderera y la ganadería, siendo sus principales manifestaciones la disminución de cobertura vegetal, la fragmentación de hábitats, la sedimentación de los ríos, la contaminación mercurial del agua y erosión del suelo (Rodríguez 1999).

El municipio tiene una población aproximada de 60.000 habitantes, de la cual la mayor parte vive en el pueblo de Tumeremo, el centro administrativo del municipio, y en los centros poblados ubicados a lo largo de la carretera troncal 10. El resto se encuentra dispersa por todo el territorio en pequeños caseríos improvisados ubicados en áreas selváticas llamados "minas", formados por conglomerados de tiendas precarias e incompletas construidas fundamentalmente de madera y plástico, habitados por un número que varía entre 50 y 300 personas dedicadas exclusivamente a la explotación aurífera. También se encuentran en el área ELD numerosos poblados indígenas de la

etnia Pemón, la mayoría de ellos formados por viviendas completas construidas por el Estado, cuya actividad principal es la agricultura de conuco; hacia el norte en el área TUM, habitan algunos grupos de la etnia Kariña, los cuales viven en conglomerados de chozas de bahareque y se dedican principalmente a la caza y recolección.

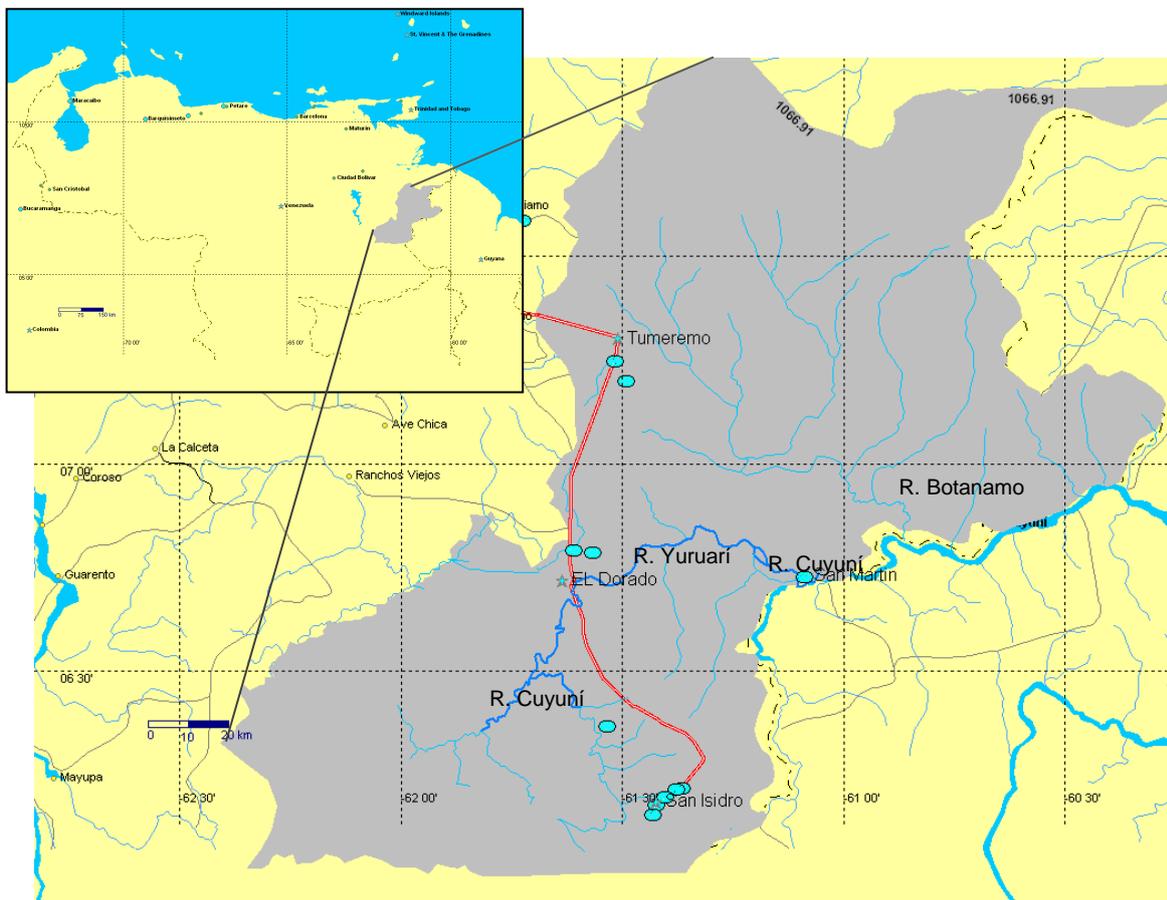


Figura 1.1. Mapa del municipio Sifontes del estado Bolívar con su ubicación relativa en Venezuela y localización de los criaderos muestreados durante el estudio longitudinal señalados en el mapa con óvalos azules

CAPITULO I

REVISIÓN DE CONOCIMIENTOS EXISTENTES

1. El cambio climático global y la malaria

Desde hace tiempo existe consenso entre los climatólogos en que el planeta está experimentando un progresivo aumento en la temperatura superficial como consecuencia de la emanación de gases (Lindsay 1996). Estos cambios se enmarcan dentro de un contexto más amplio de cambios globales, que causan perturbaciones importantes en los sistemas físicos y biológicos y tienen un impacto directo sobre la salud humana, lo cual se manifiesta, entre otras cosas, por la alteración del rango y actividad de las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, principalmente malaria (Haines y McMichael 1997). Esta anomalía parece estar relacionada con cambios climáticos locales, principalmente en la temperatura y el patrón de precipitación, asociados al fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) (Bouma y Dye 1997).

Se espera que el cambio climático global, exceda en los próximos 100 años cualquier cambio ocurrido durante los últimos 10 siglos. Esto afectará la salud de la población humana de forma directa, al introducir cambios drásticos en el ambiente, y de manera indirecta al provocar alteraciones en los ecosistemas, trayendo consecuentemente cambios en los patrones de distribución y frecuencia de las enfermedades infecciosas (McMichael & Haines 1997). La influencia climática sobre los vectores de las enfermedades metaxénicas, tales como malaria, dengue, fiebre amarilla, Chagas y otras,

causará cambios en los indicadores de riesgo asociado a ellas (Rogers & Parker 1993).

La malaria se extiende desde la franja ecuatorial hasta la isoterma de los 16 °C, debido a que el desarrollo del parásito en el mosquito cesa por debajo de esta temperatura, y dado que la temperatura y humedad están entre los factores más importantes para el ciclo extrínseco de incubación del parásito, su incremento constituye la principal causa de brotes epidémicos en zonas no endémicas (Bruce-Chwatt 1980, Patz et al. 1996). Estudios empíricos realizados en Rwanda, indican que los cambios en el clima podrían elevar el rango de altitud de la malaria, afectando poblaciones altas que actualmente están fuera del área de riesgo (Levinshon 1994). Asimismo, el uso de modelos matemáticos para la simulación de escenarios de cambio climático, ha permitido predecir que el rango para la transmisión de malaria en el mundo, podría expandirse en 45% para finales de este siglo (Martens et al. 1995). Dentro de este contexto, se han identificado necesidades específicas de investigación, siendo una de ellas la ecología de vectores y la sensibilidad de las endemias al clima en áreas de frontera endémica (Haines & McMichael 1997). El análisis de la relación de las enfermedades infecciosas con los cambios climáticos globales se convierte en el tema central de este enfoque, siendo un ejemplo de ello es el examen sistemático de los brotes epidémicos de malaria en regiones afectadas por el fenómeno “El Niño” (Bouma & Dye 1997, Bouma et al. 1997, Bouma & Van Der Kaay 1996)

El Niño es un fenómeno climático interanual caracterizado por un repentino calentamiento de la superficie oceánica del Pacífico, llamado anomalía SST (“*sea surface temperatures*”) lo cual provoca un prolongado periodo cálido alrededor del ecuador con efectos sobre el clima global (Wang et al. 1999, Kovats 2000). Este periodo cálido frecuentemente es seguido por periodos fríos, conocidos como La Niña. Ambos están estrechamente relacionados con los cambios de presión atmosférica a cada lado del Pacífico (“*Southern Oscillation*”) y con los vientos monzones de la India, al sistema completo se le conoce como ENSO (“*El Niño Southern Oscillation*”) (Wang et al. 1999, Kumar et al. 1999). Este fenómeno tiene una marcada influencia sobre la salud de la población, particularmente sobre las enfermedades relacionadas con el agua y las transmitidas por vectores, entre ellas la malaria (Patz et al. 1996, Haines y McMichael 1997, McMichael y Haines 1997).

Debido a su efecto sobre las precipitaciones y el clima en general, El Niño puede incrementar la transmisión de malaria en áreas sensibles, al potenciar las condiciones favorables a los vectores. Las especies de mosquitos tales como *An. gambiae s.l.* y *An. darlingi* son sensibles a los cambios de temperatura y responden favorablemente a la disponibilidad de criaderos (Kovats 2000, Githeko et al. 2000). Las elevadas temperaturas asociadas con El Niño, pueden incrementar la transmisión de malaria en áreas elevadas, como ocurrió en Pakistán (Bouma et al. 1996), mientras que en zonas áridas, como el desierto del Punjab en la India, el aumento de las precipitaciones puede aumentar el número de criaderos de anofelinos (Bouma y Kaay 1996).

En zonas húmedas, la disminución de las precipitaciones puede causar el estancamiento de los ríos, favoreciendo la reproducción del vector. En Ceilán, la falla de la periodicidad de los monzones, ocasionó periodos inusuales de sequía con el consecuente estancamiento de los ríos, lo cual aumentó la prevalencia de malaria significativamente durante los años de El Niño (Bouma & Kaay 1996). En Senegal, un estudio retrospectivo demostró que había una fuerte asociación entre la mortalidad por malaria y las anomalías en la precipitación entre 1984 y 1996 (Ndiaye et al. 2001). En Colombia el análisis de información espacial y temporal permitió encontrar evidencia de la alteración del ciclo anual de malaria al año siguiente de la ocurrencia de El Niño, como consecuencia de un patrón consistente de anomalías climáticas entre las cuales están incluidas el aumento de la temperatura media, disminución de las precipitaciones y disminución de la descarga de los ríos, lo cual favorece la transmisión de malaria (Bouma et al. 1997, Poveda et al. 2001). En Venezuela, estudios retrospectivos han demostrado que la malaria incrementa en promedio un tercio al año siguiente a un episodio de El Niño, estos brotes epidémicos han sido asociados con una baja en las precipitaciones anuales provocadas por el fenómeno (Bouma y Dye 1997).

La relación entre el clima y la malaria es indiscutible, no obstante, no se puede simplificar ni generalizar. Esta relación es multifactorial y sus efectos difieren notablemente de un lugar a otro. Sus efectos dependen de las características ecológicas del vector local, siendo necesario realizar más

investigación para determinar la naturaleza ecológica de los mecanismos de esta relación (Kovats 2000).

2. El estudio de la relación malaria-clima

En el caso concreto de la malaria, la mayoría de los autores coinciden en la importancia del clima como agente modulador de la variabilidad de la malaria. Las diferencias surgen cuando se discute la forma en que el clima afecta la enfermedad y cuál debe ser la metodología para estudiar el problema. El papel de variables como la precipitación y la temperatura del aire son resaltados frecuentemente, no dejando lugar a la duda sobre su importancia, mientras que el papel de otras variables como la humedad relativa no parece estar muy claro, y otras como el nivel del río y la insolación han sido poco exploradas (Poveda y Rojas 1997, Reiter 2008, Wangdi et al. 2010, Zhou et al. 2004). Sin embargo, una premisa comúnmente aceptada es que el efecto del clima sobre la transmisión de malaria puede variar de un lugar a otro dependiendo de aspectos inherentes al paisaje, la topografía, la vegetación y la hidrología superficial (Bomblies et al. 2009, Olson et al. 2009). Más aún, algunos autores discuten el papel del clima en la transmisión de malaria y argumentan que su importancia está sobrestimada. Según Reiter (2008) otros factores pudieran ser claves en el incremento notable de la enfermedad en el mundo, tales como la ecología y comportamiento de humanos y mosquitos vectores, el incremento de la población expuesta a riesgo, su estado inmunitario, el uso de la tierra, las migraciones y la deforestación, por mencionar algunos entre los más

importantes. Agrega el autor, que un punto de vista holístico es necesario, y que las variables climáticas no deben ser estudiadas aisladamente.

A pesar de las muy validas objeciones, el estudio de la relación entre malaria y clima se ha intensificado en los últimos años, y diversas técnicas de análisis se han utilizado, la mayoría de ellas basadas en el análisis conjunto de series de tiempo y la construcción de modelos a partir de bases de datos de malaria y clima. Una de las técnicas más comúnmente usadas para establecer asociaciones entre la variabilidad del clima y la malaria son las correlaciones cruzadas con retardo mediante análisis de series de tiempo (Chowell et al. 2009, Elife et al. 2007, Ruiz et al. 2006, Xiao et al 2010, Zhou et al. 2004), así como la construcción de modelos con el uso de análisis de regresión múltiple y técnicas autoregresivas (Gaudart et al. 2009, Ventosilla et al 2008, Wangdi et al. 2010), o la construcción de índices climáticos mediante técnicas multivariadas como Análisis de Componentes Principales (Rahman et al. 2010).

En Venezuela se han realizado algunos estudios tendientes a explorar este tema utilizando enfoques similares. Destacan los trabajos de Sáez-Sáez et al. (2007), quienes utilizaron series climáticas para evaluar la relación entre malaria, precipitación y temperatura del aire en la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela, mediante análisis de regresión múltiple realizado con rezago de las series hasta por cuatro semanas. Igualmente Sáez-Sáez et al. (2009) realizaron un estudio para analizar la relación entre la variabilidad climática y la malaria en el municipio Sifontes del estado Bolívar, utilizando registros del IOS (Índice de Oscilación Sur), mediante correlaciones con rezago y

autocorrelación. Uno de los trabajos pioneros en este campo fue el de Bouma y Dye (1997), quienes exploraron la relación existente entre los ciclos de malaria en Venezuela y El Niño Oscilación del Sur en el periodo 1910-1992, encontrando que la malaria se incrementada en un tercio al año siguiente del la ocurrencia del evento El Niño.

3. Bionomía de los vectores de malaria en el área de estudio

Anopheles darlingi es considerado el principal vector de la cuenca amazónica, mientras que *An. marajoara* es considerado un vector secundario (Rubio-Palis & Zimmermann 1997, Lounibos & Conn 2000). *Anopheles darlingi* debe tal calificación a su comprobada domesticidad, antropofagia y elevada susceptibilidad a *Plasmodium* sp. (Faran & Linthincum 1981, Rubio-Palis & Zimmerman 1997), lo cual lo capacita para mantener la endemicidad de la malaria en zonas donde su densidad es bastante baja (Tadei et al. 1998). Esta especie tiene un rango de distribución que abarca desde el sur de México hasta el sur de Brasil, siendo el vector principal o único en Brasil, Venezuela, Colombia, Perú y Bolivia (Lounibos & Conn 2000). En Venezuela, recientemente, *An. darlingi*, junto con *An. marajoara* fueron hallados positivos a las dos variantes de *P. vivax* y *P. falciparum* en el municipio Sifontes del estado Bolívar, al mismo tiempo que *An. neomaculipalpus* Curry dio positivo a *P. vivax* (Moreno et al. 2005)

Las formas inmaduras de *An. darlingi* han sido reportadas principalmente en cuerpos de agua no contaminados, quebradas y pozos que se hacen en los

márgenes de los ríos, siempre en criaderos total o parcialmente sombreados (Faran & Linthicum 1981, Charlwood 1996). Se ha sugerido que los hábitats con macrofitas sumergidas favorecen la presencia de esta especie en Venezuela (Rejmankova et al. 1999). En Tumeremo, área de estudio de esta propuesta, la especie ha sido colectada en una variedad de criaderos que incluye quebradas, pozos a orilla de río, charcas parcialmente sombreadas, lagunas y socavaciones del terreno en áreas deforestadas, asociada en la mayoría de los casos a macrofitas sumergidas (Moreno et al. 2000). No obstante, Berti et al. (2008) sólo la colectaron en quebradas a la sombra, con abundante materia orgánica, alto contenido de oxígeno disuelto y pH básico.

Uno de los hallazgos importantes del trabajo de Moreno et al (2000), fue la mayor abundancia de esta especie en lagunas y huecos de minas en áreas fuertemente intervenidas, lo cual contradice la descripción de su hábitat tradicional. No obstante, el hecho confirma las observaciones de otros autores, quienes afirman que la distribución y abundancia relativa de los anofelinos frecuentemente es alterada por las actividades humanas (Tadei et al. 1998). Un ejemplo reciente de ello lo constituye la colonización de *An. darlingi* de pozos utilizados para la cría de peces en Perú, lo cual provocó un brote epidémico de más de 12 mil casos en 1997 (Lounibos & Conn 2000). No obstante la generalidad de la afirmación, existen indicios que sugieren que *An darlingi* podría ser afectado negativamente por la deforestación al ser expuestos los criaderos a la luz los criaderos, lo cual es aprovechado por otras especies oportunistas (Tadei et al. 1998, Tadei & Dutary 2000). En consecuencia, estas

contradicciones evidencian grandes lagunas en el conocimiento existente acerca de la bionomía de este importante vector de malaria, haciéndose evidente la necesidad de profundizar en la investigación de su ecología.

Una característica predominante en las poblaciones de *An. darlingi* a lo largo de su distribución geográfica y que ha sido reportada en varios estudios es la baja densidad (Roberts et al. 1987, Tadei et al. 1998, Soares et al. 2003) Sobre este tema Charlwood (1996) afirma que el ciclo poblacional anual de *An. darlingi* depende de la combinación de una compleja serie de factores, tales como el ciclo anual de lluvias y la disponibilidad de criaderos adecuados, entre otros, pero que en general, el tamaño de las poblaciones de *An. darlingi* es pequeño. No obstante, la densidad relativa de *An. darlingi* puede mostrar grandes variaciones estacionales o geográficas, que en muchos casos pueden ser atribuibles a las actividades humanas (Lounibos & Conn 2000, Tadei et al. 1998, Tadei & Thatcher 2000). En general, se considera que las bajas densidades no constituyen impedimento para mantener la transmisión, ya que *An. darlingi* es un excelente vector incluso a muy bajas densidades (Tadei et al. 1998, Tadei & Thatcher 2000, Póvoa et al. 2003)

Anopheles marajoara al contrario, sólo hasta hace poco fue incriminado por vez primera como vector primario de *P. vivax* en Amapá, Brasil (Lounibos & Conn 2000), pero en Venezuela (= *An. albitarsis* s.l.) previamente había sido colectado picando sobre humanos y encontrado positivo a proteína circumesporozoito de *P. vivax* (Rubio-Palis & Curtis 1992, Rubio-Palis et al. 1992). Esta especie, junto con *An. darlingi*, constituyeron casi la totalidad de la

muestra colectada picando sobre humanos en Sifontes durante el estudio de Moreno et al (2002), mostrando tasas de infección a *P. vivax* y *P. falciparum* más elevadas que las de *An. darlingi* (Moreno et al. 2004). Sobre la bionomía de las larvas de esta especie poco ha sido publicado, esto se debe a que hasta hace poco su status taxonómico y en consecuencia su distribución geográfica no eran muy claros, puesto que se trata de una las especies del complejo *Anopheles albitarsis*, el cual consta de cuatro especies: *An. albitarsis* Lynch-Arribáizaga encontrada en Argentina, Paraguay y Sureste de Brasil; *An. marajoara* que se encuentra desde Costa Rica hasta Bolivia; *An. deaneorum* Rosa-Freitas distribuida desde los estados Rondonia y Mato Grosso en Brasil hasta el noreste de Argentina y una cuarta especie (especie B) ubicada entre Brasil y Paraguay que aun no ha sido formalmente descrita (Wilkerson et al. 1985, Lounibos & Conn 2000). Asimismo, Rubio-Palis et al. (2003) demostraron que *An. marajoara* era la única especie del complejo presente en Venezuela. En Amazonas, Venezuela, *An. marajoara* ha sido colectada en márgenes de riachuelos y lagunas semipermanentes, en lugares total o parcialmente sombreados en sabanas, bosques de galería y bosques húmedos tropicales (Rubio-Palis 2000); mientras que en Tumeremo, fue la segunda especie más frecuente y abundante, detrás de *An. triannulatus*, siendo colectada con mayor frecuencia en lagunas y huecos de mina a pleno sol, así como también en quebradas, siempre asociada a gramíneas emergentes y macrofitas sumergidas (Moreno et al 2000).

En el estudio de adultos realizado por Moreno et al. (2002), *An. marajoara* fue la especie dominante en toda el área, seguida de *An. darlingi*. Un comportamiento similar en cuanto al predominio de esta especie sobre *An. darlingi* fue observado por Conn et al. (2002) en el norte de Brasil, lo cual pudiera ser explicado como una consecuencia de la intensa intervención humana en la zona; que favorece a las especies que se desarrollan en lagunas a pleno sol ricas en macrofitas, en detrimento de *An. darlingi* (Tadei et al. 1998, Conn et al. 2002). La tasa de picada de 10.5 Mosquitos/Hombre/Noche (MHN) obtenida por Moreno et al. (2004) para *An. marajoara*, aún cuando es superior a la de *An. darlingi*, no difiere mucho de las obtenidas por Rubio-Palis (1995) en algunas poblaciones del sur de Venezuela para esa especie, donde se colectaron entre 2 y 77 MHN en cuatro localidades del área.

Con respecto a la tercera especie hallada infectada en esta área, *An. neomaculipalpus*, poco se conoce de su importancia epidemiológica y de su bionomía, al igual que de otras especies del subgénero *Anopheles* (Moreno et al. 2005). Esta es la primera vez que se reporta esta especie infectada en Venezuela, previamente sólo se conoce de un reporte de infección con *P. falciparum* en Colombia (Herrera et al. 1987).

4. Ecología de las larvas de anofelinos

La asociación entre la distribución y abundancia de los anofelinos y las características ambientales de los criaderos están bien documentadas, especialmente en lo referente a la vegetación acuática. Rejmánková et al.

(1999) afirman que la razón para esto es que la vegetación ofrece refugio y alimento a las larvas de mosquito, además de constituir hábitats relativamente estables. Esta premisa ha sido previamente confirmada por diferentes autores. Rejmánková et al. (1991), mediante un análisis de correspondencia canónica, determinaron que *An. albimanus* Wiedemann estaba positivamente asociado a macrofitas flotantes y fitoplancton, y negativamente asociada con las algas filamentosas y la altitud, al contrario de *An. pseudopunctipennis* Theobald. Posteriormente, Rejmánková et al. (1992) reportaron que los hábitats con vegetación dominante representada por algas planctónicas, macrofitas emergentes y *Cyperus* eran los más productivos para *An. albimanus*. Adicionalmente, Rejmánková et al. (1993) en un estudio sobre factores ambientales asociados con la presencia de larvas de *Anopheles* en Belice, determinaron que las algas filamentosas, cianobacterias y macrofitas sumergidas tenían una estrecha relación con algunas especies de anofelinos.

Dentro de ese mismo orden de ideas, Hernández et al. (1997) en un estudio de caracterización de criaderos de *An. albimanus* en México encontraron que, en un ambiente dominado por hierbas emergentes y algas, tres potenciales depredadores (peces, coleópteros y hemípteros) no tenían un impacto significativo sobre la abundancia de la especie, sugiriendo que la interacción presa-depredador es minimizada en este ambiente. De la misma forma, Rodríguez et al. (1993) determinaron que existía una fuerte asociación entre la abundancia de *An. albimanus* y la presencia de gramíneas, sugiriendo que este hábitat regula la relación presa-depredador y favorece la ovoposición

de hembras grávidas. También Fernández-Salas et al. (1994) reportaron una asociación significativa entre la abundancia de larvas de *An. pseudopunctipennis* y la presencia de las algas filamentosas *Spirogyra* y *Oedogonium* en los criaderos en México, concluyendo que la vegetación flotante y emergente constituyen un estímulo para que las hembras de la especie seleccionen estos hábitats como sitios de ovoposición.

Estos resultados confirman los obtenidos anteriormente por Savage et al. (1990), quienes reportaron que la presencia de las algas filamentosas *Spirogyra* y *Chladophora*, eran factores predictivos de la presencia de *An. pseudopunctipennis*. En este mismo trabajo se reportan a las algas planctónicas, la altitud y la presencia de macrofitas, como importantes factores predictivos de la presencia de *An. albimanus*. Similramente, Manguin et al. (1996) reportaron que cinco géneros de algas verdes: *Spirogyra*, *Oedeogonium*, *Chladophora*, *Closterium* y *Enteromorpha* estuvieron asociadas positivamente con los hábitats de *An. pseudopunctipennis*, así como los hábitats de aguas estancadas sin cobertura vegetal y expuestos.

Los resultados referidos anteriormente respaldan la importancia de la vegetación acuática, así como las características físicas y limnológicas de los criaderos, en la determinación de la presencia, abundancia y distribución de las larvas de anofelinos y su potencial uso como herramienta de control (Manguin et al. 1996, Rejmánková et al. 1991, 1993, 1999; Savage et al. 1990). La idea básica de este enfoque es que las características del hábitat pueden ser utilizadas como elementos predictivos de la presencia de anofelinos e

indicadores de cambios en las poblaciones de larvas, que pueden ser monitoreados mediante sensores remotos para la vigilancia y control de la malaria (Hayes et al. 1985, Pope et al. 1994). En otras palabras, mediante la observación permanente con sensores remotos de los hábitats ya caracterizados y la integración de la información epidemiológica y entomológica proveniente del campo con Sistemas de Información Geográfica (SIG), se pueden predecir las variaciones en la dinámica poblacional de los mosquitos.

5. Distribución espacial y temporal de las poblaciones de anofelinos

Una de las principales características de las poblaciones de anofelinos son las variaciones en la distribución temporal lo cual afecta también su distribución espacial. Réjmaková et al. (1991), en un análisis multivariado de las relaciones entre el ambiente, el hábitat y la presencia de anofelinos en México, concluyeron que tanto la abundancia como el valor predictivo del hábitat para la ocurrencia de las dos especies evaluadas, *An. albimanus* y *An. pseudopunctipennis*, variaba entre una estación climática y la siguiente; esto es, durante la estación seca era posible coleccionar *An. albimanus* en el hábitat tipo estuario, pero no durante la estación lluviosa. Posteriormente, Rejmánková et al. (1993), durante un estudio en Belice, reportaron que la densidad larval de cuatro especies de anofelinos fue mucho más alta durante la estación seca, así como el número de especies de *Anopheles* presentes, mientras que durante la estación lluviosa sólo fueron coleccionados *An. albimanus* y *An. crucians* Wiedemann. Resultados similares obtuvieron otros autores para estas dos

mismas especies de anofelinos. Savage et al. (1990) encuentran diferencias en la asociación de *An. Albimanus* y *An. Pseudopunctipennis* a ciertas especies de plantas entre la estación seca y la estación lluviosa. Rodríguez et al. (1993), reportaron que la variación estacional en las poblaciones de larvas de *An. albimanus* era elevada, concluyendo que tal variación era un reflejo de la distribución de hábitats dentro de unidades de vegetación. Fernández-Salas et al. (1994), demostraron una estacionalidad en los tipos y disponibilidad de criaderos de *An. pseudopunctipennis*, siendo estos más abundantes durante la estación seca como producto de la disminución de las precipitaciones. Similarmente, Manguin et al. (1996), en un extenso estudio de *An. pseudopunctipennis* a lo largo de su distribución geográfica, encontró que este era más abundante durante la estación seca como producto del aumento del número de pozos en la rivera de los ríos. Todos ellos coinciden en que las variaciones observadas son un reflejo de la disponibilidad de hábitats, los cuales a su vez, sufren variaciones temporales y espaciales principalmente por la acción del clima.

Lo anterior también es válido para otras especies de anofelinos. Rejmánková et al. (1993) en Belice, demostraron que *An. argyritarsis* Robineau-Desvoidy era más abundante en época de sequía junto con *An. pseudopunctipennis*, y que estaba positivamente asociada a ciertos hábitats dominados por alga filamentosa, cianobacterias y macrofitas sumergidas. En Venezuela, la especie más estudiada desde este punto de vista, ha sido *An. aquasalis* Curry. Berti et al. (1993) encontraron que esta especie era más

abundante en la estación lluviosa y en criaderos tipo marisma en Sucre. Asimismo encontraron diferencias en cuanto a la abundancia y distribución espacial de esta especie con respecto a las otras siete especies colectadas durante el estudio. Delgado et al. (1998) reportaron una asociación positiva entre la abundancia de *An. aquasalis* y la salinidad del agua en el estado Sucre. Grillet et al. (1998) obtuvieron resultados similares para *An. aquasalis* en la misma zona, observando una estrecha asociación de la especie con los ambientes salobres sin vegetación y mayor abundancia en época lluviosa, mientras que *An. oswaldoi* (Peryassu) fue más frecuente en aguas no salobres con vegetación emergente. La otra especie presente en la misma área de los trabajos anteriores es *An. pseudopunctipennis*. Berti et al. (1998a) estudiaron las fluctuaciones estacionales de la densidad larvaria de esta especie, encontrando que era más abundante durante la época de sequía en pozos a la orilla del río donde *Spirogyra* era la especie vegetal dominante, resultados que coinciden con los obtenidos en México por Savage et al. (1990), Fernández-Salas et al. (1994) y Manguin et al. (1996).

Según Zimmermann (1992), la abundancia estacional de anofelinos está regulada por la presencia o ausencia de criaderos, los cuales están directamente asociados con la precipitación. Klein & Lima (1990) han sugerido que la variación en la abundancia de adultos de *An. darlingi* esta afectada por la temperatura estacional, precipitación, nivel del río y vegetación acuática. Rozendaal (1990) también concluyó que la precipitación y la fluctuación del nivel del río determinan la ubicación de los criaderos y la presencia o ausencia

de esta especie. La estacionalidad de *An. darlingi* ha sido corroborada por Tadei & Dutary (2000) en Brasil y Rubio-Palis et al. (2000) en Venezuela. En Tumeremo, Berti et al. (2008) reportan mayor abundancia de la especie durante los meses de menor pluviosidad. Los resultados obtenidos por Moreno et al. (2002) muestran una marcada fluctuación poblacional para *An. darlingi* y *An. marajoara*, estando estas especies positivamente correlacionadas con la precipitación de los dos meses anteriores. No obstante, aún persisten muchos aspectos desconocidos sobre la biología y ecología de estas importantes especies. Adicionalmente, existe mucha dificultad para obtener muestras suficientemente grandes, de especies como *An. darlingi*, lo que ha limitado las oportunidades de estudio (Charlwood 1996). En general, se requiere realizar estudios sobre variaciones geográficas del comportamiento, ecología de las larvas y competencia vectorial entre otros temas de importancia, pero sobre todo se deben priorizar los estudios sobre ecología de vectores en el ámbito local.

La relación de la abundancia de los anofelinos con el clima es bien conocida y ha sido bien documentada en varias regiones del mundo, particularmente con la temperatura, la humedad relativa y la precipitación (Githeko et al. 2000, Kovats et al. 2003). Algunos autores han asociado el aumento en la densidad de *An. darlingi* a la época de sequía o a los periodos de transición (Soares et al. 2003, Souza-Santos 2002, Póvoa et al. 2001), mientras que otros afirman que la densidad de esta especie incrementa durante la época de lluvias, pudiendo este patrón variar en pocos kilómetros, debido a

la conocida variabilidad en la abundancia de los vectores entre lugares y entre noches (Charlwood 1996, Tadei & Thatcher 2000, Roberts et al. 2002, Soares et al. 2003). En Venezuela, ha sido reportado que la abundancia de *An. darlingi* está significativamente correlacionada con la lluvia y el nivel del río en el Alto Orinoco (Magris 2007b), al contrario de lo reportado por Poveda et al. (2001) en Colombia y Soares et al. (2003) en Brasil; estas contradicciones podrían deberse a diferencias en las características ecológicas de las regiones y de los vectores.

6. Dispersión de las poblaciones de anofelinos

Según Charlwood (1996), la dispersión de los mosquitos es probablemente una función del ambiente, factores tales como la abundancia de hospedero y disponibilidad de sitios de oviposición afectan la dispersión. En consecuencia, la distribución espacial de la malaria también es una función del ambiente, según Marques (1987) la dispersión de la malaria en Brasil, comenzó en los años 60's, con la construcción de nuevos caminos, y siguió en los 70's con el establecimiento de proyectos hidroeléctricos, y se consolidó en los 80's con la emergencia de establecimientos mineros (Povoa et al. 2001). Es un hecho indiscutible que la dispersión de los mosquitos y consecuentemente de la malaria está estrechamente a la actividad humana.

Uno de los ejemplos más notables de este problema lo describen Povoa et al. (2003) en un trabajo realizado el estado de Pará, Brasil. Estos autores realizaron una evaluación de la epidemiología y transmisión de malaria en la

ciudad de Belém durante los últimos setenta años, demostrando que *An. darlingi*, previamente erradicado de la región en 1968, había reaparecido en 1990 con un marcado incremento en su abundancia. En este trabajo también se encontró, que la diversidad de especies de *Anopheles*, particularmente las del subgénero *Nyssorhynchus*, había aumentado de dos en 1930 a seis en 1940, incrementándose también los casos de malaria a partir de 1970; todo ello, concluyen, como resultado de la continua expansión de la ciudad en la selva que la rodea. Previamente Tadei et al. (1998), en un trabajo sobre ecología de mosquitos en varios lugares de la amazonía brasileña, realizado en áreas urbanas, forestales y de “*garimpos*”, después de obtener datos sobre dinámica poblacional de anofelinos, antes, durante y después de alteraciones ecológicas, concluyeron que había habido un incremento en la densidad y diversidad de especies en localidades con intervención humana. Otros autores también han llegado a conclusiones similares en sus trabajos; Guimarães et al. (2004), en un estudio sobre ecología de anofelinos vectores de malaria en Serra de Mesa, Brasil, concluyeron que el aumento del reservorio de agua en una represa nueva, sumado al flujo migratorio de mineros, provocaron aumentos drásticos en la población de *An. darlingi* y en los casos de malaria en la zona. Schoeler et al. (2003), en un estudio la distribución geográfica de *An. darlingi* en el departamento de Loreto, en la región amazónica de Perú, sugieren que esta especie de anofelino podría estarse dispersando ampliamente, en áreas donde previamente no había sido reportado, producto

de cambios en el uso de los ríos y explotación del bosque, lo que consecuentemente ha incrementado la malaria.

Las alteraciones del ecosistema, no solamente provocan cambios en la abundancia, distribución y composición de las especies, sino que, en consecuencia, pueden también alterar su estatus vectorial. Al respecto, Conn et al. (2002) reportan la emergencia de *An. marajoara* como un nuevo vector neotropical de malaria, en el estado de Amapá, al noreste de Brasil, desplazando en este papel a *An. darlingi* como vector principal en la región. Esto parece ser el resultado de un incremento en la abundancia de *An. marajoara*, debido a alteraciones en el uso de la tierra, provocada por la inmigración humana, y a su comportamiento antropofílico, según concluyen los autores.

7. Uso de mapas de distribución de anofelinos

Las condiciones ambientales pueden determinar la presencia o ausencia de las especies de anofelinos y su dinámica poblacional, dada su estrecha relación con las características del paisaje. Los elementos del paisaje tales como cobertura del suelo, vegetación, hidrología, topografía y presencia humana pueden determinar la presencia de los criaderos de mosquitos y su dispersión en el espacio. Las actividades humanas son un elemento altamente modificador de las condiciones del paisaje y con una gran influencia en la abundancia y dispersión de las especies.

Un primer paso en la comprensión de la distribución espacial de los mosquitos es la captura de datos geográficos precisos asociados a especies,

los cuales combinados con datos climáticos y de vegetación, pueden servir para elaborar modelos de distribución de especies o de adecuabilidad de hábitat (Foley et al. 2010). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), basados en los datos geográficos capturados en tierra, en combinación con imágenes obtenidas de sensores remotos y herramientas de modelación, han sido ampliamente usados en ecología de poblaciones para generar mapas de cobertura de suelo, y estudiar la relación entre el paisaje, la presencia y abundancia de las especies de mosquitos y otros vectores de enfermedades (Beck et al. 2000). Estos mapas pueden cubrir escalas espaciales muy amplias que van desde el nivel local hasta el continental, y escalas temporales que abarcan desde un brote de corta duración hasta modelos multianuales (Kitron 2000).

En África, Dambach et al. (2009, 2012) usaron imágenes satelitales para generar coberturas de suelo y predecir la presencia de criaderos de anofelinos y generar mapas de riesgo a malaria. Un SIG basado en GPS fue utilizado por Ageep et al. (2009) en el norte de Sudan para estudiar la influencia de factores ambientales en la distribución temporal y espacial de *An. arabiensis*, y la importancia de ello para el control. Cailly et al. (2011) en Francia, usaron imágenes Landsat para construir mapas de cobertura vegetal del suelo, localizar los criaderos en ellos y explicar la distribución espacial de los adultos de dos especies de anofelinos. Bogh et al. (2007), usando una combinación de datos de campo, imágenes satelitales y SIGs, desarrollaron mapas de alta resolución de las tasas entomológicas de inoculación y los criaderos de *An.*

gambiae s.l. en Gambia, África occidental. Diuk et al. (2007) crearon mapas a partir de imágenes Landsat para explicar la variabilidad en la abundancia de *An. gambiae* en arrozales en Sudán.

Otros de los usos más comunes de los SIG es la generación de modelos de *adecuabilidad de habitats* en forma de mapas de distribución, basados en la cuantificación de los factores ambientales claves para la distribución espacial de las especies de anofelinos aplicados a datos espaciales obtenidos mediante colectas (Capinha et al. 2009). No obstante, uno de los usos más simples y generalizados de los SIG consiste en la generación de mapas de distribución de especies, los cuales puede tener agregados datos ecológicos y bionómicos o no, cuyo ejemplos más notables son la aplicación en línea llamada *MosquitoMap* y los mapas de ocurrencia de las especies vectoras dominantes en América y el mundo (Foley et al. 2010, Sinka et al. 2010,2012).

Otro de los aspectos más estudiados mediante el uso de los SIG, ha sido la heterogeneidad espacio-temporal de la malaria derivada de la variabilidad social y natural del entorno donde esta se produce, de donde se deriva el concepto de *hot spot* o foco caliente de malaria (Enrst et al. 2006, Bejon et al. 2010, Srivastava et al. 2009). La idea es que en los trópicos, dentro de una gran área endémica a malaria aparentemente homogénea, existen algunos focos locales de elevada transmisión continua durante todo el año, mientras que en la mayoría la transmisión es intermitente o no existe (Bejon et al. 2010). Este aspecto ha sido estudiado por Caldas et al. (2006) en Brasil y

Grillet et al. (2009, 2010) en Venezuela, quienes demostraron el carácter altamente focal de la malaria en la región.

En Suramérica, el incremento de la malaria en la amazonia fundamentalmente ocurre en áreas de reciente colonización agrícola o minera, las cuales experimentan un rápido crecimiento demográfico y expansión económica intensa, caracterizadas por una intensa deforestación, denominándose a estas zonas como malaria de fronteras (Marques 1987). Estos estratos epidemiológicos están fuertemente ligados a la presencia y la abundancia de *An. darlingi*, el principal vector de malaria en Suramérica, el cual se ve favorecido por la deforestación y la presencia humana (Vasconcelos et al. 2006; Vittor et al. 2006, 2009). Monteiro et al. (2011) estudiaron los parámetros ambientales que influyen la distribución espacial de *An. darlingi* en Roraima, Brasil, encontrando que las larvas estaban presentes en áreas de transición entre áreas forestadas y deforestadas. Coutinho et al. (2009) estudiaron la distribución espacial de *An. darlingi* y *An. aquasalis* en Espírito Santo, Brasil, mediante el uso de imágenes satelitales para definir áreas de riesgo y la importancia vectorial de estas especies, mientras que Rosa-Freitas et al. (2007) usando técnicas de modelación ecológica de nicho, desarrollaron mapas de distribución de anofelinos en Roraima, Brasil. Atanaka-Santos et al. (2007) realizaron un análisis espacial para priorizar áreas de control en Mato Grosso, Brasil, mientras que Molina (2008) realizó un análisis espacial de la distribución de malaria en Colombia.

En Venezuela son pocas las experiencias en la implementación de SIGs para el estudio o monitoreo de la malaria u otras enfermedades metaxénicas. Barrera et al. (1998) usaron un SIG para estudiar los patrones espaciales y temporales de la malaria en el estado Sucre. Delgado et al. (2000, 2003), construyeron un SIG en el estado Sucre, para elaborar modelos de riesgo a malaria basado en características del paisaje, ecología, distribución de vectores y población humana. Grillet et al. (2010), describieron la heterogeneidad espacial de la malaria en el estado Sucre e identificaron los focos calientes de malaria, demostrando que la relación de esta enfermedad con las variables ambientales varia a través del espacio. Asimismo, Medina et al. (2011) construyeron mapas de riesgo a malaria en la cuenca del río Caura, Venezuela, basándose en una evaluación multicriterio de variables ambientales y antrópicas favorables a la transmisión de malaria, las cuales se expresaron en índices de conveniencia para la viabilidad de parásitos y vectores.

En el presente trabajo, a partir de mapas de vegetación preexistentes, y mediante la colecta de datos geográficos en el campo, se construyeron mapas de distribución de las principales especies de anofelinos vectores de malaria en el municipio Sifontes del estado Bolívar.

CAPITULO II

ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE LA RELACIÓN MALARIA- CLIMA

1. Introducción

La malaria es de naturaleza endemo-epidémica en el estado Bolívar, según la Dirección General de Salud Ambiental (DGSA, 2010), más de 45 mil casos que se reportaron en Venezuela durante 2010, de los cuales 39.744 (88%) correspondieron al estado Bolívar. De esta cantidad 15.767 (39,6%) se originaron en el municipio Sifontes, ubicado en el noreste del estado, por lo que este municipio es considerado uno de los principales focos de malaria en Venezuela. La formula parasitaria promedio en el municipio entre 1995 y 2007 arroja 37% para *Plasmodium vivax*, 26% para *P. falciparum* y menos de 1% para infecciones mixtas. Entre 2003 y 2007 se han registrado 156 casos de *P. malariae* (Dirección de Salud Ambiental y Contraloría Sanitaria del Estado Bolivar [DRSACS] 1995-2007).

Mucho se ha escrito sobre la influencia del clima en las enfermedades transmitidas por vectores, particularmente la malaria. De este contexto, surge como una necesidad para el control, comprender el comportamiento de la morbilidad por malaria en el municipio Sifontes y su relación con el clima. Para ello, en este capítulo, se realizó un análisis de la relación de la malaria con el clima en el municipio, el cual comienza con una descripción del comportamiento de las principales variables climáticas en el lapso 1993-2005, seguido de la descripción del comportamiento anual de la casuística de malaria en el estado Bolívar en el lapso 1980-2007, y comportamiento a escala anual y

mensual de la malaria en el municipio Sifontes, en un enfoque comparativo con el estado Bolívar.

El análisis de la relación de la malaria con el clima, propiamente dicho, está dividido en dos secciones: En primer lugar un análisis de regresión múltiple exploratorio, que examina la relación de la malaria con un grupo de variables climáticas a escala semanal en los lapsos 1993-2003 y 1993-2005, el segundo de los cuales incluye el periodo epidémico 1994-2005, con el objeto de identificar variables ambientales predictivas de la variaciones de la morbilidad por malaria en este municipio. En segundo lugar, un análisis de series de tiempo que examina en forma retrospectiva, a escala de observación mensual y semanal, el comportamiento estacional de la malaria y la relación temporal de ésta con las variables climáticas en el municipio Sifontes en los lapsos señalados anteriormente. Para ello se realizaron análisis de correlación simple y correlación cruzada con rezago o desplazamiento de la series por varias unidades de tiempo.

2. Materiales y métodos

2.1 Manejo de los datos de malaria y clima

Para todos los efectos, se obtuvieron los registros diarios de las variables climáticas correspondientes al periodo comprendido entre enero 1993 y mayo 2005, de la estación de Anacoco ($6^{\circ}42'55$ – $61^{\circ}05'39$) perteneciente al Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR 1993-2005) (Actualmente Ministerio del Poder Popular para el Ambiente). El periodo

estudiado estuvo restringido por la disponibilidad de datos climatológicos. Las seis variables climáticas constituidas por datos diarios e incluidas en el análisis fueron: acumulado de lluvia en milímetros (mm), promedio de temperatura mínima, media y máxima en grados Celsius (°C), porcentaje promedio de humedad relativa media, insolación (horas diarias de sol) y nivel diario del río Cuyuní en metros (m). A partir de estos datos se construyeron dos tipos de bases de datos: Series de tiempo a escala semanal y mensual de los lapsos 1993-2003 (N=572 y N=132) y 1993-2005 (N=646 y N=149), así como bases agrupadas en promedios semanales (N=52) para los periodos señalados. En el caso de datos faltantes estos fueron estimados por el método del promedio simple (Guevara Díaz, 2003). Simultáneamente se obtuvieron los registros de casos acumulados semanales de malaria de la Dirección de Salud Ambiental del Estado Bolívar (DSAEB) correspondientes a la misma serie de tiempo señalada para los datos climatológicos, los cuales fueron agrupados por semana epidemiológica y por mes. Los datos fueron almacenados en bases de datos de Excel y de allí exportados a diferentes paquetes estadísticos, según el caso.

2.2 Análisis de regresión múltiple

Con el objeto de explorar la relación entre la malaria y el clima, y determinar cuáles variables climáticas tenían mayor poder explicativo de la variabilidad de los casos de malaria, se realizaron análisis de regresión múltiple de la malaria a escala semanal en el municipio Sifontes versus las variables climáticas como variables regresoras en los lapsos 1993-2003 y 1993-2005. Para ello se

utilizaron los datos agrupados en promedios semanales obtenidos a partir de los datos diarios, obteniéndose dos matrices de siete variables por 52 casos (N=52) para ambos lapsos. Se realizó análisis exploratorio con las variables transformadas a escala logarítmica ($\text{Log } x+1$) y datos estandarizados, no obteniéndose resultados diferentes por lo cual el análisis final se realizó con los datos en escala original. Para la verificación del cumplimiento de los supuestos requeridos para el análisis de regresión se realizó análisis de residuales, de auto correlación y multicolinealidad (Chacín 1998). El análisis fue realizado con el programa *Statistica for Windows* versión 5.1 (Statsoft Inc. 1996).

2.3 Análisis de series de tiempo

En esta sección, por un lado se analiza el comportamiento temporal de la malaria y por el otro la relación existente entre los casos acumulados de malaria y las variables climáticas. Para ello se utilizaron los datos agrupados en series de tiempo semanal y mensual para los periodos 1993-2003 (N=572 y 132 respectivamente) y 1993-2005 (N=646 y 149). La relación entre las series de tiempo fue examinada mediante análisis de correlación simple Producto-momento de Pearson, autocorrelación y análisis de correlación con rezago mediante la técnica *Distributed Lags Analysis*, que sirve para examinar relaciones donde una variable independiente o explicativa afecta a una variable dependiente con algún rezago (Lag). Para ello se usaron los programas *Statistica for Windows* (StatSoft, Inc. 1996) y *SPSS 15.0 para Windows* (SPSS Inc, 1989-2006).

3. Resultados

3.1 Comportamiento del clima en el lapso 1993-2005

Los valores promedio mensuales en el lapso 1993-2005 de las principales variables climáticas del municipio Sifontes del estado Bolívar son resumidos en la tabla 2.1 La precipitación acumulada anual caída en el municipio Sifontes del estado Bolívar en el lapso 1993-2005 son mostrados en la figura 2.1 En promedio cayeron en el municipio 1.580 mm de lluvia anual en ese lapso, como corresponde a un clima tropical monzónico (Hernández 1987). La distribución del acumulado anual de lluvia en ese lapso adopta una forma bimodal, de ciclos quinquenales, presentándose dos picos en los años 1996 y 2000 con 2.012 y 1.988 mm de lluvia respectivamente. El año menos lluvioso en la serie fue 2001 con 1.194 mm, no observándose diferencias notables entre los demás años. En cuanto a la distribución mensual promedio de las lluvias en el lapso, mostrada en la figura 2.2, en esta zona llueve durante todo el año, pero la línea de distribución mensual de las lluvias muestra un patrón bimodal, con dos periodos climáticos claramente diferenciados. Hay una época más lluviosa que va de abril a septiembre, con un pico mayor de precipitación en el mes de junio, y una época de sequía entre octubre y marzo, siendo octubre, febrero y marzo los meses más secos, presentándose normalmente entre noviembre y enero un pico menor de precipitación intercalado en la época de sequía, el cual es más pronunciado en los años más lluviosos (Figura 2.2). En promedio en el lapso 1993-2005 (\pm DE) cayeron en el municipio 131,7 \pm 60,9 mm de lluvia al mes. El promedio de acumulado mensual de lluvia más bajo en el lapso, corresponde al

mes de octubre con 65,9 mm, y el más elevado al mes de junio con 241,6 mm (Tabla 2.1) Si bien la curva marca el pico máximo de precipitación en el mes de junio, puede haber variaciones interanuales, habiéndose registrado 425,4 mm de lluvia en mayo de 1996, siendo este el mayor pico en el lapso señalado, seguido de otros picos de menor cuantía en ese mes en los años 1998, 2002 y 2004 (Tabla 2.2). La mayor parte de los picos de lluvia en el lapso descrito se registran durante los meses de mayo y junio, pero durante los años 93 y 94 se presentaron picos en noviembre y octubre, coincidiendo el primero con el pico menor de precipitación en la serie y constituyendo el segundo una anomalía. Asimismo el mínimo para el lapso fue de 4,2 mm caído en febrero de 1995 (Tabla 2.2).

Según Hernández (1987), la oscilación térmica anual en el estado Bolívar no pasa de 3 °C. En el municipio Sifontes en promedio la temperatura media mensual medida en el lapso 1993-2005 oscila entre 25,7 y 27,7 °C con un promedio (\pm DE) de $26,9 \pm 0,69$ °C (Tabla 2.1), siendo los meses más fríos enero y febrero, y estando los meses más cálidos distribuidos en dos picos anuales, uno entre abril y mayo, y el más alto entre septiembre y octubre (Figura 2.3). Los valores extremos en la temperatura media mensual del lapso están representados por 22,8 °C registrados en julio de 1995 y 29,3°C ocurridos en abril de 1998. De la misma forma, el promedio mensual en el lapso del parámetro temperatura máxima fluctúa entre 30,7 y 33,5 °C, con una media anual (\pm DE) de $32,3 \pm 0,88$ °C (Tabla 2.1), observándose el valor más elevado en octubre y el más bajo en enero.

Tabla 2.1. Caracterización histórica mensual promedio del clima para el lapso 1993-2005 en el Municipio Sifontes del estado Bolívar

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación* (mm)	113,8	69,7	70,4	91,8	205,5	241,3	209,6	175,4	104,7	65,9	102,8	129,1	131,7
T. Máxima (°C)	30,7	31,1	32,3	32,9	32,3	31,7	32,1	32,8	33,4	33,5	32,9	31,5	32,3
T. Mínima (°C)	20,9	20,6	21,1	22,2	22,5	22,3	22,0	21,9	21,9	21,8	21,9	21,5	21,7
T. Media (°C)	25,8	25,7	26,6	27,5	27,4	26,9	26,6	27,3	27,6	27,7	27,4	26,4	26,9
%HR Máxima	93,5	93,1	91,5	93,6	94,7	97,0	97,0	96,8	96,8	96,4	96,0	94,2	95,0
%HR Mínima	31,8	30,4	25,4	28,4	34,7	36,9	34,0	31,1	28,4	26,4	29,1	31,4	30,7
%HR Media	72,6	68,9	64,0	66,4	73,3	78,5	75,5	73,0	69,4	67,3	70,1	71,3	70,8
Nivel del río (m)	4,6	4,3	3,8	3,8	4,7	6,5	6,6	6,7	6,0	5,4	5,1	4,8	5,2
Insolación diaria**	5,8	6,0	6,7	6,5	5,7	4,8	6,1	6,7	8,0	8,0	6,8	5,9	6,4

* Acumulado, **horas diarias de sol

Fuente: Ministerio del Ambiente y de Los Recursos Naturales Renovables, 1993-2005. Estación climatológica de Anacoco.

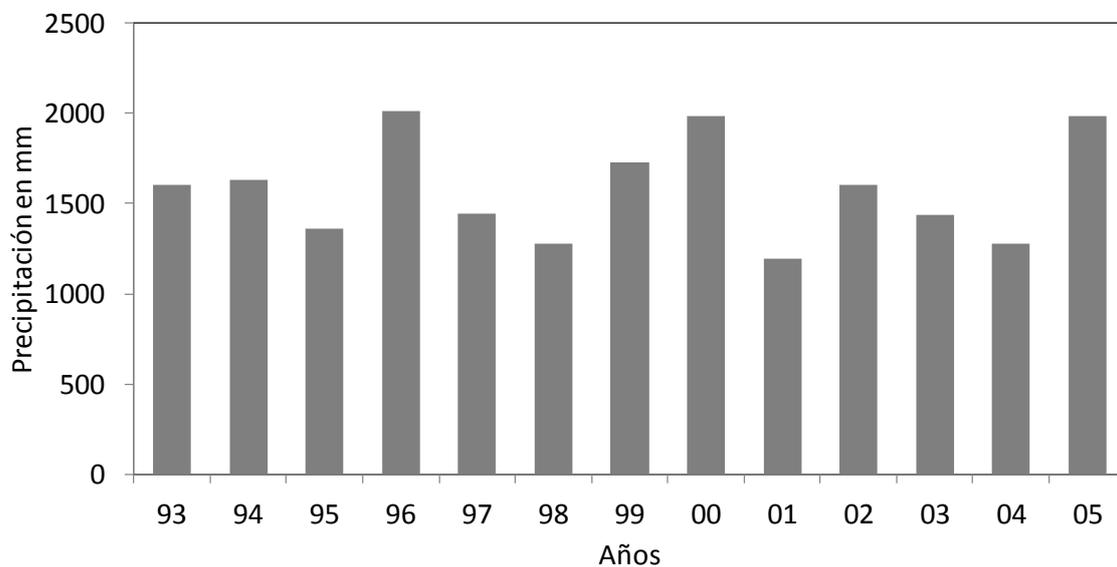


Figura 2.1. Precipitación acumulada anual en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

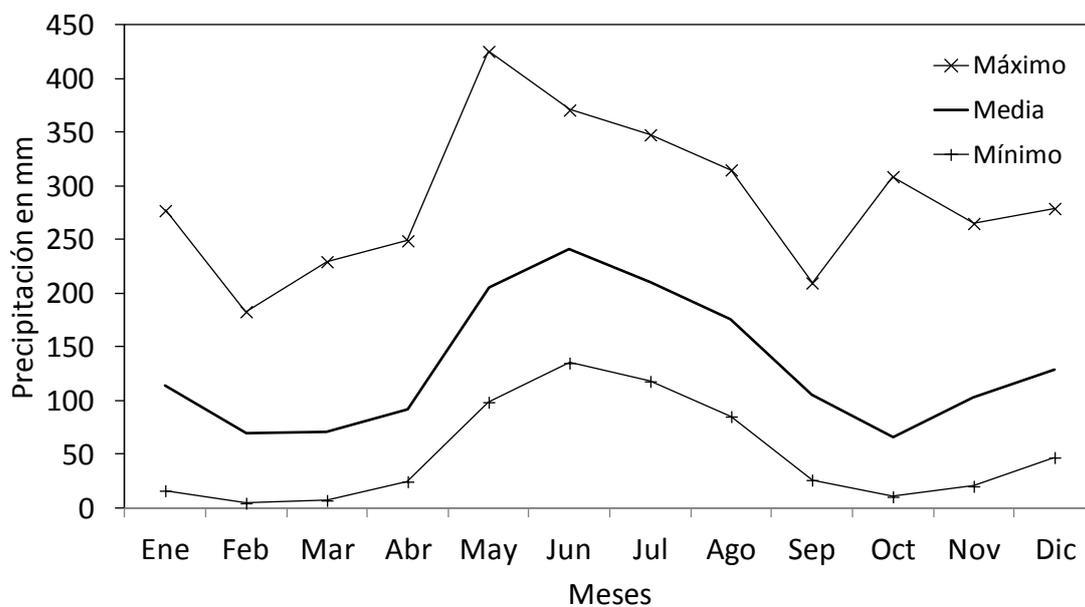


Figura 2.2. Precipitación acumulada mensual promedio en el lapso 1993-2005 en el Municipio Sifontes del estado Bolívar

Los valores extremos en la temperatura máxima en el lapso están representados por 29,6 y 34,8 °C ocurridos en febrero de 1997 y abril de 1998 respectivamente. En cuanto a la temperatura mínima promedio mensual, ésta oscila entre 20,6 y 22,5 °C con un promedio (\pm DE) de $21,7 \pm 0,58$ °C, registrándose los valores más elevados durante el lapso de abril a julio y los más bajos en enero y febrero (Tabla 2.1). Asimismo, los valores extremos de temperatura mínima promedio registrados en el lapso fueron 17,0 °C en febrero de 1996 y 24,9 °C durante mayo de 1993.

Tabla 2.2. Precipitación acumulada mensual para el lapso 1993 a 2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1993	134,2	40,3	119,8	85,8	129,1	209,8	159,8	122,0	43,8	101,5	265,0	189,8	1601
1994	118,0	73,6	49,8	39,2	147,2	246,3	215,5	136,9	96,1	308,7	97,1	102,8	1631
1995	27,0	4,2	21,2	48,6	111,0	235,1	140,2	218,1	185,2	32,4	137,2	199,6	1360
1996	86,8	134,6	73,2	24,3	425,4	370,8	347,2	198,0	209,6	51,8	43,4	46,8	2012
1997	137,0	182,8	93,8	75,2	147,7	274,4	156,4	85,0	55,4	42,4	46,6	146,8	1444
1998	22,8	19,0	8,4	105,0	296,4	228,4	195,8	180,0	53,4	22,8	47,6	100,2	1280
1999	124,6	70,2	97,8	48,2	151,1	265,4	289,0	315,0	162,2	58,4	20,0	127,6	1730
2000	174,1	101,4	229,4	200,6	202,0	338,0	124,8	198,6	116,8	32,2	182,6	87,6	1988
2001	63,4	56,2	34,2	90,4	98,4	193,2	225,8	133,3	51,8	84,6	38,0	125,0	1194
2002	126,2	88,8	92,6	132,2	331,0	303,4	117,8	164,4	55,8	10,2	103,8	75,6	1602
2003	15,9	16,2	6,8	42,4	222,2	186,6	279,7	145,2	173,8	34,8	197,2	119,2	1440
2004	172,0	33,6	32,4	52,8	297,4	151,0	125,0	102,1	131,0	35,6	65,2	78,2	1276
2005	277,0	84,8	55,5	248,9	112,4	134,9	347,7	281,1	25,8	41,9	92,9	279,0	1982

Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1993-2005, Estación climatológica de Anacoco.

Al igual que la temperatura, la humedad relativa muestra muy pocas variaciones en el lapso. La humedad relativa media mensual fluctúa entre 64,0 y 78,5% con un promedio (\pm DE) de $70,8 \pm 7,1\%$ (Tabla 2.1). La curva de la humedad relativa media muestra una tendencia similar a la de la precipitación, con un ligero incremento en los meses de mayo a julio con un pico en el mes de junio, registrándose el promedio más bajo durante los meses de marzo y abril (Figura 2.4). Los valores extremos en la serie mensual se registraron durante marzo de 2004 y junio de 1994 con 50,1 y 84,4% respectivamente. La humedad relativa mínima muestra una tendencia casi idéntica a la media, con subidas y bajadas en los mismos meses, oscilando entre 36,9 y 25,4% y con un promedio mensual (\pm DE) de $30,7 \pm 6,0\%$ (Tabla 2.1). Los valores extremos en el promedio mensual de la humedad relativa mínima en el lapso fueron 18,8 y 45,8% registrados en junio de 1994 y marzo de 2004. La curva de los promedios mensuales de humedad relativa máxima es la que menos oscilaciones muestra en el lapso 1993-2005. Los valores de promedio mensuales son bastante homogéneos, este valor se mantiene cercano a 100% la mayor parte del año, de julio a diciembre, estando por encima de 99% el resto del año (Figura 2.4). El promedio mensual de humedad relativa máxima oscilo entre 91,1% en el mes de marzo y 97,0% en junio y julio, con una media anual (\pm DE) de $95,0 \pm 1,9\%$ (Tabla 2.1). El valor mínimo para esta variable registrado en todo el lapso fue de 77,4% ocurrido en marzo de 2004.

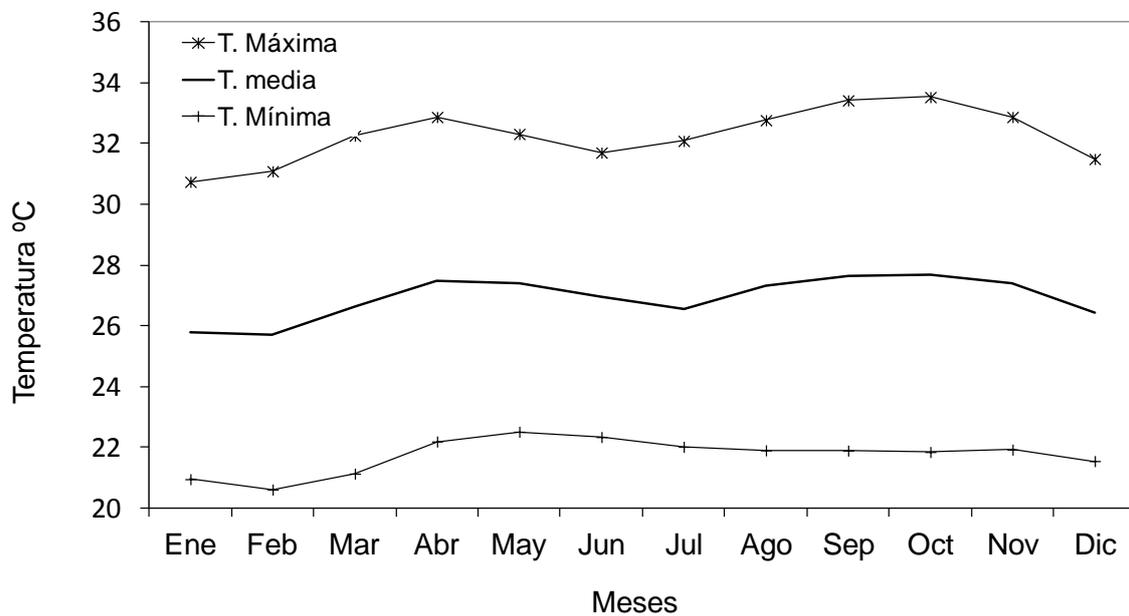


Figura 2.3. Promedios mensuales de temperatura en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

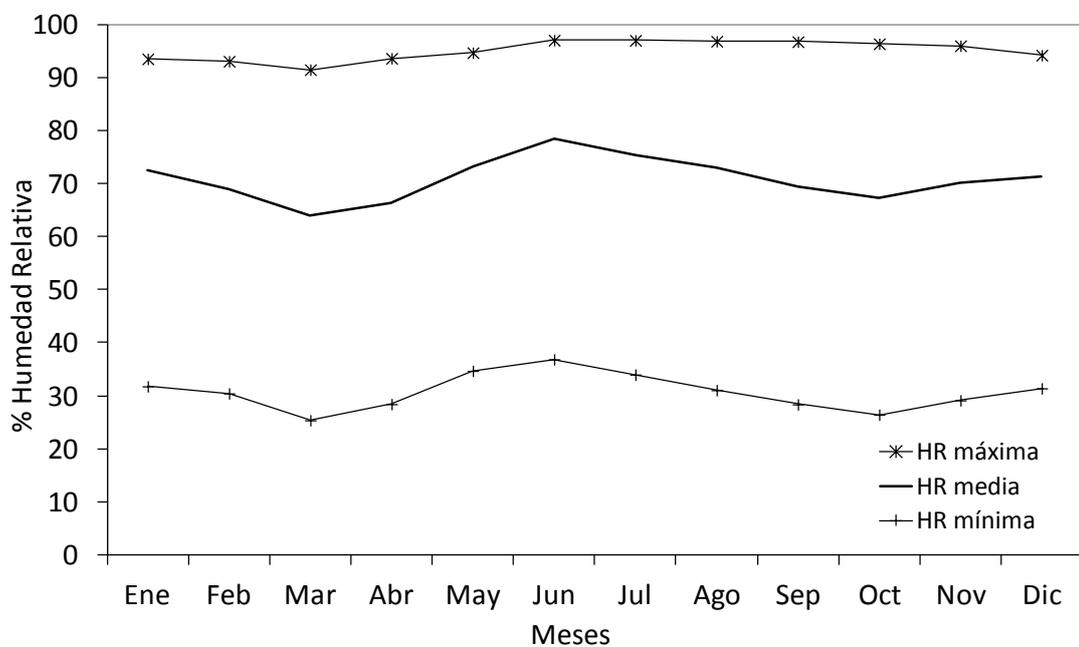


Figura 2.4. Promedios mensuales de humedad relativa en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

El municipio Sifontes constituye casi en su totalidad la base geográfica de la cuenca hidrográfica Cuyuní-Yuruarí, formada por la confluencia de los ríos del mismo nombre y que tiene una extensión de 50.000 km², de los cuales aproximadamente 12.000 se encuentran fuera del territorio venezolano (Hernández 1987). Propiamente se trata de tres cuencas: la del río Yuruarí, la del Cuyuní hasta la confluencia con el Venamo y la del Botanamo (Figura 2.5). La profundidad del río Cuyuní es medida diariamente y representa uno de los principales indicadores climáticos de la región, la figura 2.6 representa las fluctuaciones estacionales del nivel del río en metros a lo largo del año obtenidas de los promedios mensuales para el lapso 1993-2005. La curva exhibe una tendencia similar a la de la precipitación con la diferencia de que al final del año no presenta una inflexión sino una suave pendiente. En promedio, el río comienza su crecida en mayo, alcanzando su mayor nivel en junio, la cual se mantiene durante julio y agosto, para comenzar el descenso en septiembre, siendo los meses de menor nivel febrero, marzo y abril. El nivel promedio mensual (\pm DE) medido en el lapso es de 5,2 \pm 1,4 m, registrándose el promedio más elevado en agosto con 6,7 m y el más bajo durante marzo y abril con 3,8 m (Tabla 2.1). Los niveles extremos en la serie fueron 2,7 m medidos en marzo de 2003 y 9,3 m registrados durante julio de 1996 y agosto de 1999.

Al contrario del nivel del río, de la precipitación y la humedad relativa, y en forma similar a la temperatura, el parámetro insolación muestra una tendencia bimodal bastante pronunciada con dos picos claramente definidos durante marzo y abril, el primero y septiembre y octubre el segundo, con un

fuerte pico de inflexión en el mes de junio (Figura 2.7). El promedio mensual (\pm DE) es $6,4 \pm 0,9$ horas diarias de sol, el cual oscila entre 8,0 horas en sus picos y 4,8 horas en su punto más bajo (Tabla 2.1). Los valores extremos en la serie fueron 8,9 horas medido en agosto y 2,9 horas en febrero ambos en 1997.

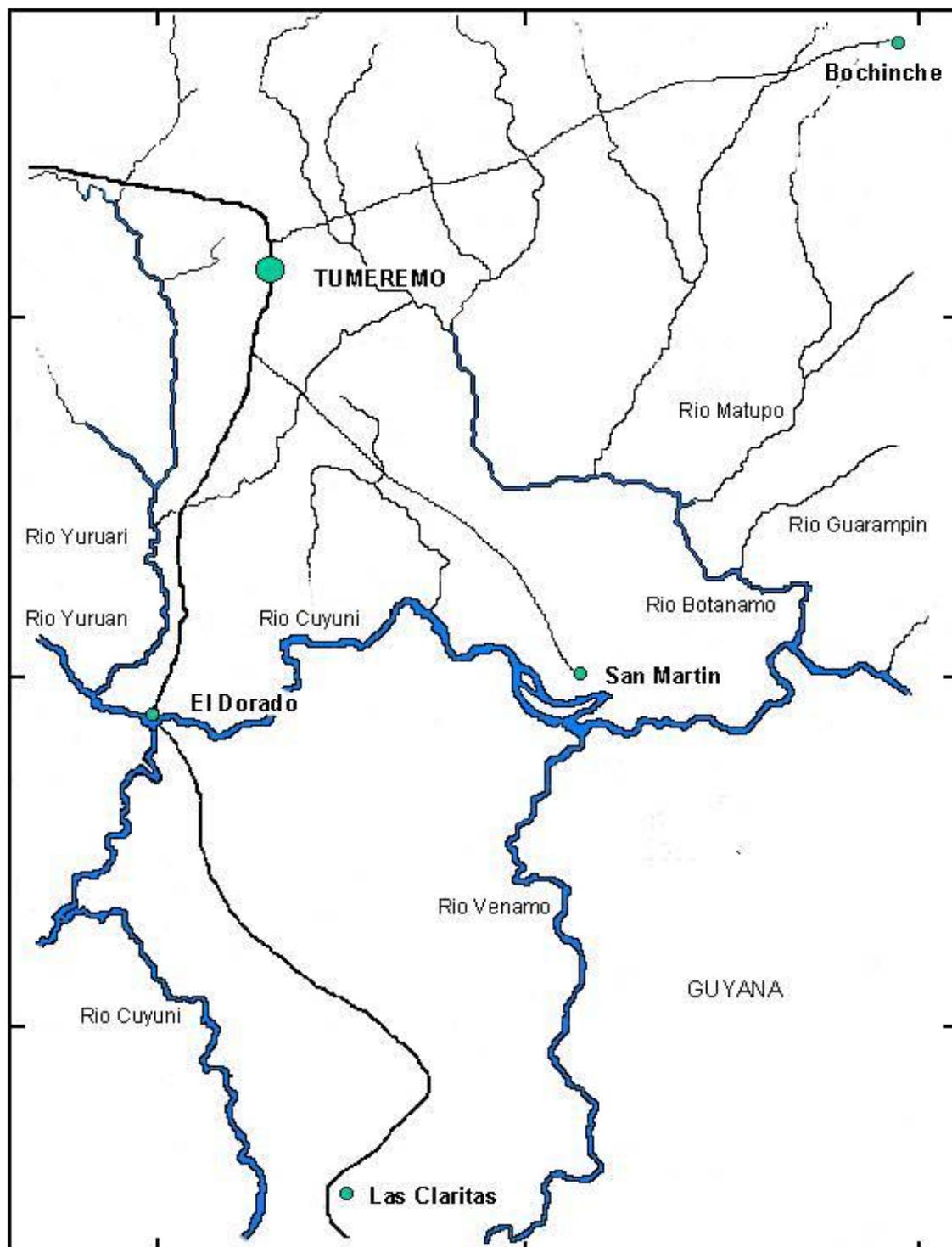


Figura 2.5. Mapa de la Cuenca hidrográfica Cuyuní-Yuruari en el municipio Sifontes del estado Bolívar

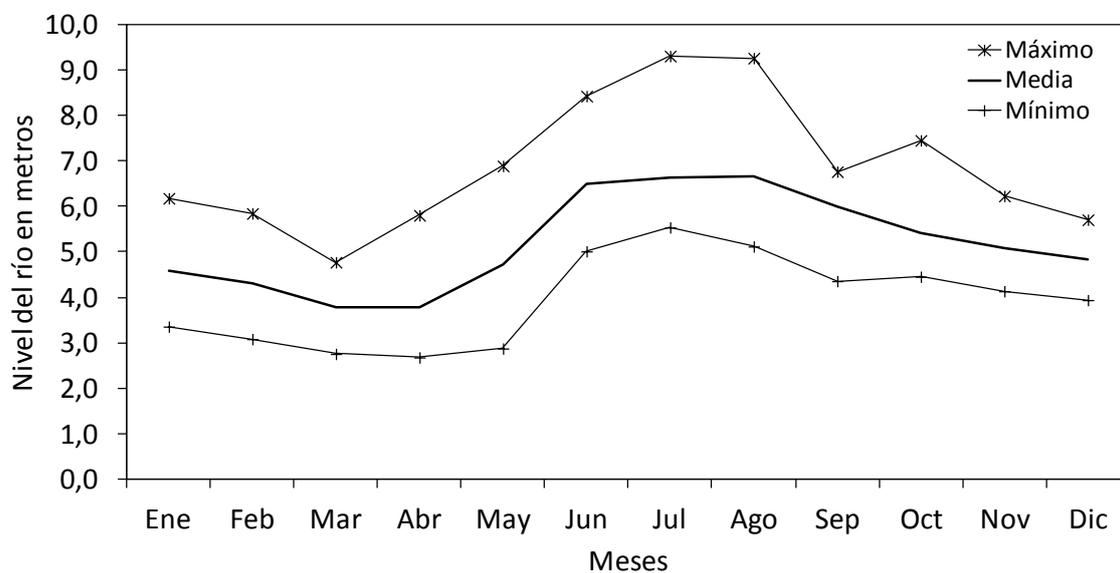


Figura 2.6. Nivel del río mensual promedio (m) en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

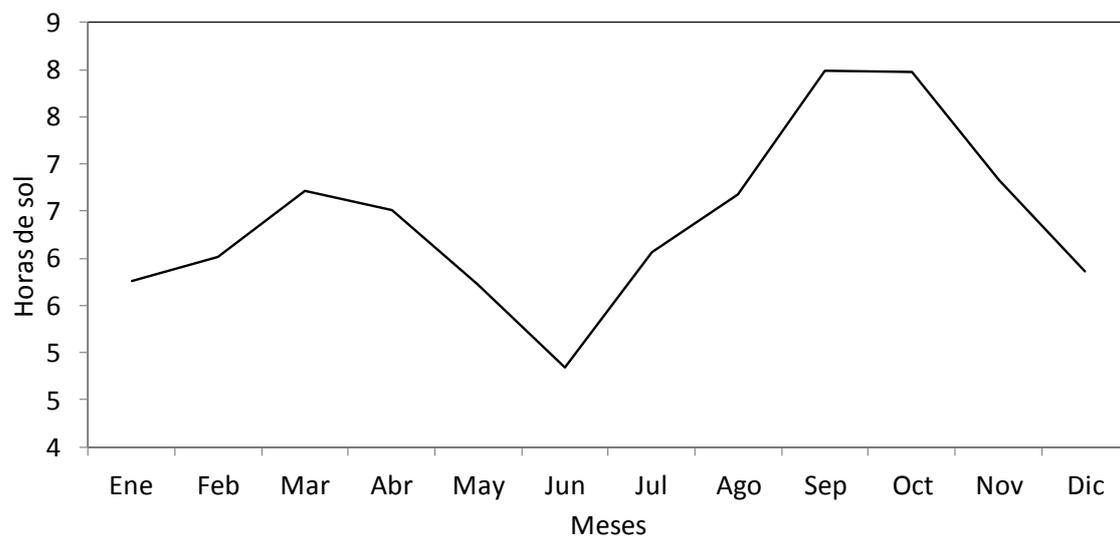


Figura 2.7. Insolación mensual promedio en el lapso 1993-2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

3.2 Comportamiento anual de la malaria en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010

Las tasas de prevalencia de malaria más elevada en Venezuela se registraron entre 1936, año de fundación de la Dirección de Malariología, y 1945, año de la introducción del DDT en la campaña de erradicación (Gabaldon 1949). Durante ese periodo, la tasa de prevalencia anual se mantuvo entre 200 y más de 500 por cien mil habitantes, comenzando un pronunciado declive a partir de 1945, y manteniéndose por debajo de 100 a partir de 1948 (Dirección General de Salud Ambiental [DGSA] 1936-2000). Casi toda la malaria registrada en ese periodo hasta 1970, estuvo ligada a los focos ubicados al norte del río Orinoco, pero ese año se registra el primer brote epidémico de importancia en el estado Bolívar, en la región de Guaniamo, en el municipio Cedeño, el cual eleva las tasas de prevalencia nacional nuevamente por encima de 200 por cien mil habitantes. A partir de allí la malaria se hace endemo-epidémica en el estado Bolívar, siendo mantenida bajo control hasta 1987, cuando ocurre el brote de El Dorado (Actualmente Las Claritas, Parroquia San Isidro) en el municipio Sifontes de este estado, que junto con el brote del estado Sucre, elevan la tasa de malaria nacional por encima del umbral de 200 una vez más.

La figura 2.8 presenta la evolución anual de los casos de malaria en el estado Bolívar entre 1980 y 2010. A partir de 1984, el comportamiento de la malaria anual en el estado refleja claramente dos patrones; un nivel basal endémico que se mantiene por debajo de 10 mil casos y un nivel de malaria adicional representado por dos brotes epidémicos. El primero de ellos ocurrió

entre 1988 y 1991, alcanzando un pico superior a 30 mil casos en 1988, y el segundo comienza en 2004 manteniéndose así hasta 2010 cuando presenta un pico de 39.744 casos.

Entre 1980 y 2010 en el estado Bolívar hubo en promedio 14.052 casos anuales de malaria, con un rango que va de 208 casos en 1980 hasta 39.744 en 2010. No obstante, este es un promedio bastante sesgado debido al comportamiento variable de la malaria expuesto anteriormente, lo cual queda evidenciado claramente en los valores del rango y en los promedios obtenidos por nivel; así, mientras en el nivel endémico hubo en promedio 7.769 casos con un rango de 3.682 a 13.146, en el nivel epidémico hubo en promedio 28.179 anuales de malaria con un rango de 21.340 a 39.744, ambos niveles mostrados en la figura 2.8. No obstante, al hacer una revisión más exhaustiva de la casuística, se revelan algunas particularidades en la evolución de la malaria, que hacen sospechar la existencia de más casos de los reportados en el periodo ínter epidémico que va de 1992 a 2003. La figura 2.9 presenta la casuística de malaria del estado entre 1995 y 2010 por clasificación de caso, observándose como en los años 95 al 98, los casos autóctonos representan sólo una proporción minoritaria del total, llegando los casos importados a superar el valor de 65% en 1997, cifras espurias que sugieren un manejo inadecuado de los datos.

En cuanto a la formula parasitaria, en promedio hubo en el estado durante ese lapso 10.151 (66,3%) casos anuales de *P. vivax* y 3.861 (33,5%) casos de *P. falciparum*. Los casos de *P. malarie* se registran a partir de 2001

(Pacheco et al. 2001), con un promedio de 22 casos anuales hasta 2010, y un rango que va de 2 a 53 casos registrados en 2008. Los casos mixtos (*P. vivax* + *P. falciparum*) representan sólo 0,9% de la casuística total en el periodo. No obstante, al realizar el mismo análisis estratificando por niveles de malaria, la fórmula parasitaria en el lapso se altera notablemente, siendo los promedios en el nivel endémico para *P. vivax* y *P. falciparum* 5.091 (60,2%) y 2.731 (40,8%) casos respectivamente, mientras que el nivel epidémico los promedios se elevan a 20.854 (74,8%) y 6.854 (23,7%) para ambas especies, lo cual representa un incremento de 14,6 puntos porcentuales de *P. vivax* y una disminución de 17,1 para *P. falciparum*. La relación proporcional de los casos de *P. falciparum* con respecto a los casos de *P. vivax*, cambia según la condición de la malaria; ésta tiende a aumentar cuando hay menos casos y disminuye marcadamente durante las epidemias (Figura 2.10). Asimismo, la variación en la proporción interanual de *P. falciparum* tiende a ser menor que la de *P. vivax*, por cuanto los incrementos y decrementos son menos bruscos, con excepción de los años 83 al 87 cuando la proporción de esta especie superó el 50% de la casuística, alcanzado un pico de 84% durante 1984 (Figura 2.11). Entre los años 1980 a 2005, han ocurrido 259 muertes por malaria, distribuidas en un rango de 1 a 26 personas fallecidas por año, cifra máxima alcanzada durante el año 1998 [Dirección de Salud Ambiental y Contraloría Sanitaria del Estado Bolívar (DSACS) 1980-2010].

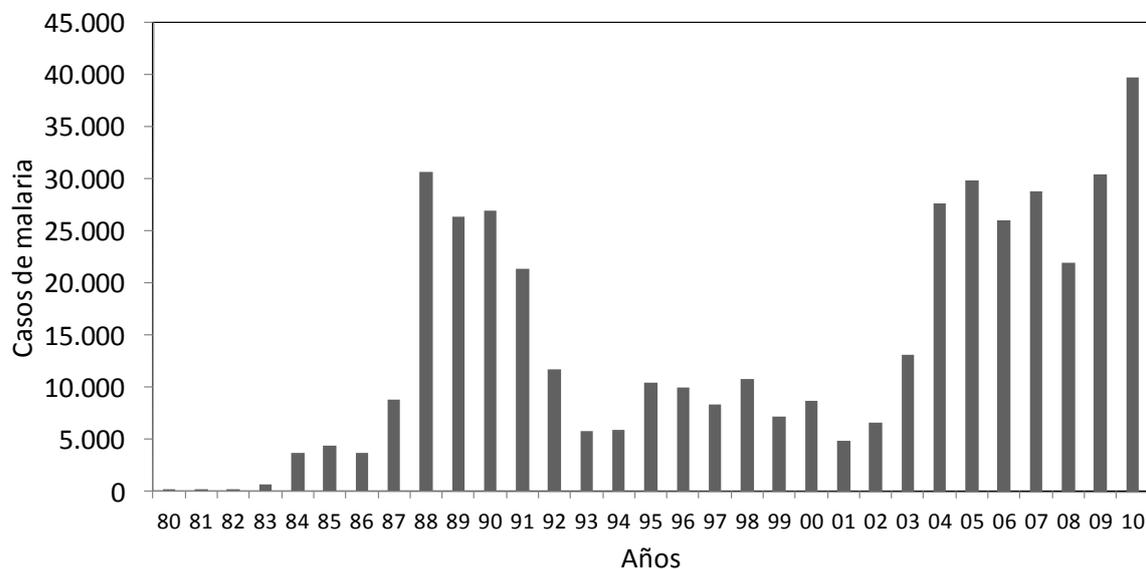


Figura 2.8. Casos acumulados anuales de malaria en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010

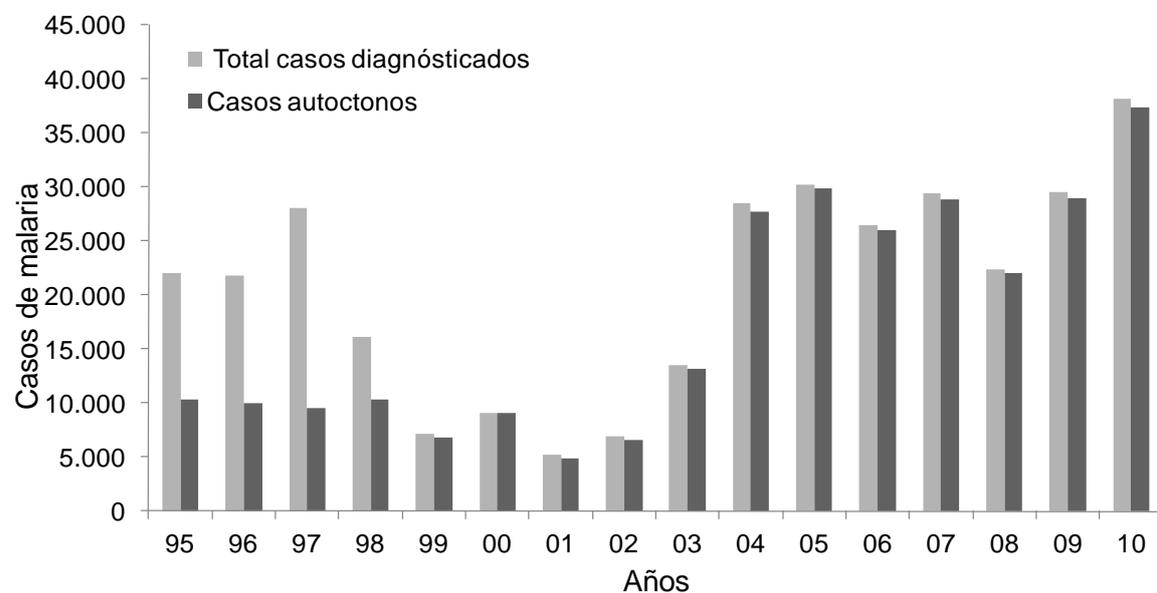


Figura 2.9. Proporción anual de casos autóctonos de malaria en el estado Bolívar en el lapso 1995-2010

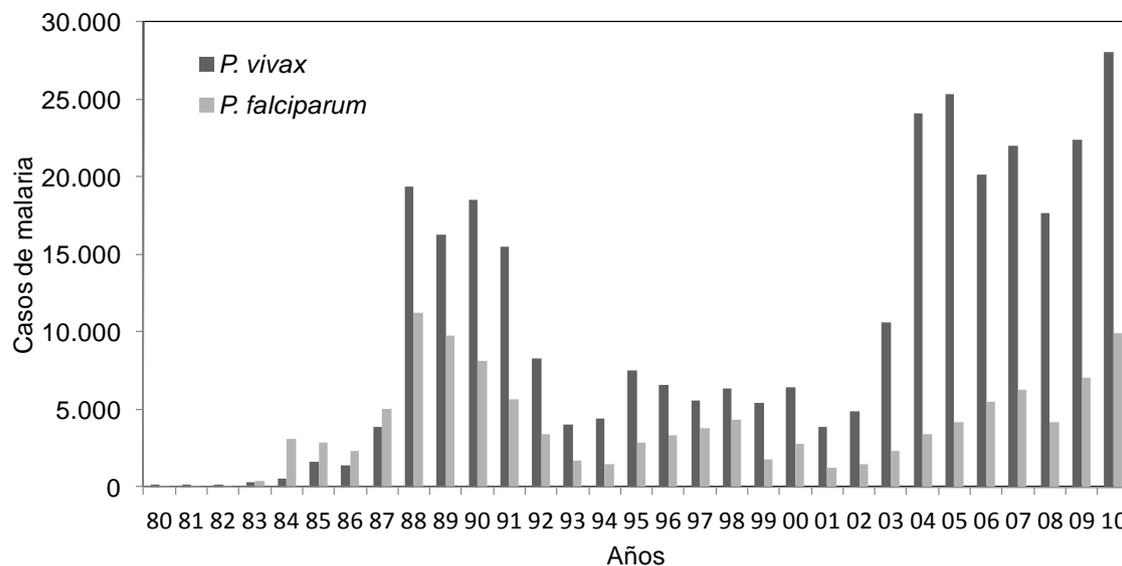


Figura 2.10. Casos anuales de malaria por especie de *Plasmodium* en el estado Bolívar en el lapso 1980-2010

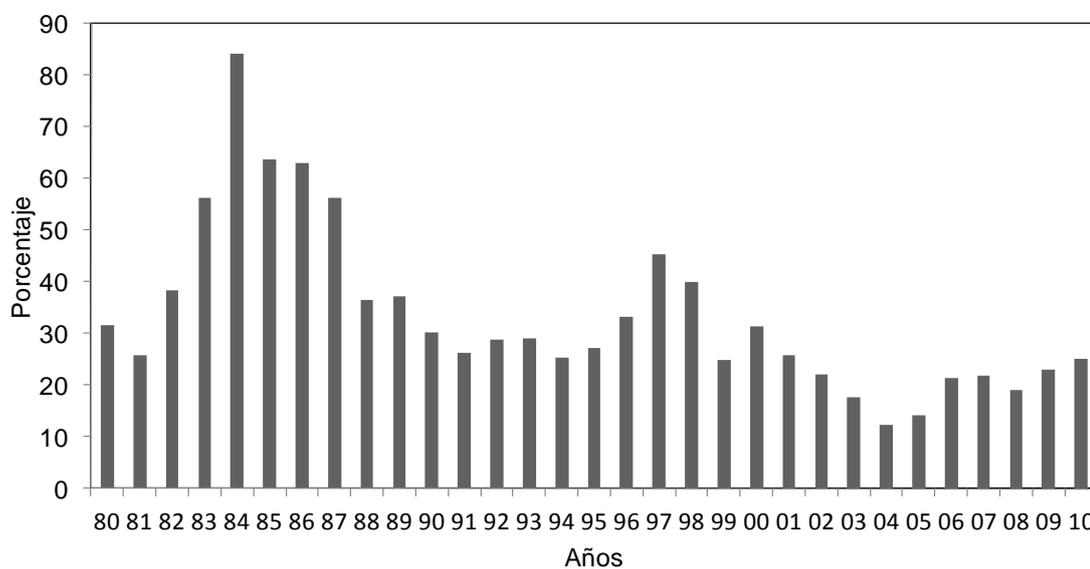


Figura 2.11. Proporción de casos de *Plasmodium falciparum* con respecto a *P. vivax* en el estado Bolívar 1980-2010

3.3 Comportamiento de la malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1980-2010

La mayor parte de los casos de malaria reportados en el estado Bolívar en el lapso 1983-2010 se originaron en el Municipio Sifontes. En ese lapso el municipio sumó 226.960 casos acumulados, con un promedio anual de 8.391 casos de malaria y un rango que va de 1.228 durante 2001 a 20.241 casos en 2010, lo que representa en promedio 49,9% de la malaria producida anualmente de manera conjunta por todos los municipios del estado (Tabla 2.3). Los municipios con más malaria acumulada después Sifontes en el lapso señalado fueron Raúl Leoni (15,1%), Sucre (11%), Cedeño (9,8%), Gran Sabana (8,4%) y Piar (7,2%), los promedios anuales de los demás municipios en conjunto representan menos de 4% de la malaria del estado (Tabla 2.3).

La evolución de la malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1980-2007 sigue un patrón muy similar al observado para el estado Bolívar, la casuística salta de tres casos (1,4%) en 1982 a 391 (61%) en 1983, pasando a 2.855 (77,5%) casos al año siguiente. La primera epidemia se produce en 1988 con 20.070 casos, generándose en promedio 16.141 casos anuales hasta 1991. Nuevamente en el periodo 2004 a 2010 se registraron en promedio 15.557 casos anuales, habiendo un pico de más de 20 casos en el año 2010; representando en promedio, en esos dos lapsos epidémicos, la malaria anual del municipio 48,4% de la malaria del estado (Figura 2.12). En el lapso intermedio entre 1992 y 2003, que puede ser considerado inter-epidémico, se generaron en promedio en el municipio 3.185 casos anuales de malaria, siendo

los valores extremos 1.228 y 5.330 casos en 2001 y 1992 respectivamente, representado esto en promedio 40,5% de la malaria anual del estado. La proporción más elevada de malaria en el municipio con respecto al estado registrada en la serie fue 77,5% en 1984, y la proporción más elevada en un periodo epidémico fue 68,5% en 1990, siendo la proporción más baja 25,3% durante 2001, exceptuando los años 80, 81 y 82 cuando prácticamente no se generaron casos de malaria en el municipio.

En cuanto a la prevalencia anual por especie de plasmodio en el municipio, la muestra correspondiente al lapso 1995-2010, proporciona una fórmula parasitaria con 100.715 (44,4%) casos acumulados de *P. vivax*, 27.267 (12,0%) casos de *P. falciparum* y 2.408 (1,1%) de infecciones mixtas. Según Pacheco et al. (2001), a partir de 2001 se comenzaron a registrar en el municipio casos de *P. malariae*, contándose 219 casos hasta 2010, con un rango que va de 1 a 53 por año. En el lapso señalado la proporción anual promedio para *P. vivax* y *P. falciparum* fue de 70,4% y 27,8% respectivamente, mientras que los casos mixtos representaron sólo 1,5 % de la casuística anual en el municipio (DSACS 1995-2010).

Del análisis de la serie de tiempo anual, se desprende un patrón claro de comportamiento de la malaria en el municipio, que está definido por cortos periodos epidémicos seguidos de periodos inter-epidémicos largos intercalados. La tendencia y la diferencia marcada en la casuística entre los dos periodos en el municipio, se puede apreciar con más facilidad al graficar la serie mensual de malaria en el lapso 1995-2010. La serie mensual presentada

en la figura 2.13, evidencia con mayor exactitud el patrón endemo-epidémico de la malaria en el estado con agudos picos mensuales, y confirma la tendencia de los últimos años a un pronunciado incremento a partir del año 2004. En esta serie, el primer pico mensual superior a 2.500 casos se presenta en enero de 2005, hay un segundo pico de más de 3000 casos en septiembre de 2009 y un último pico cercano a 2500 casos en junio de 2010. Al realizar la estratificación por casos acumulados anuales de malaria, se evidencian dos niveles epidemiológicos diferentes, uno basal y uno epidémico, derivados de las diferencias en los promedios mensuales de malaria de los años en que hubo epidemia (1988-1991 y 2004-2010) con respecto a los demás años de la serie (Figura 2.14); el periodo de malaria basal es aquel cuya curva fluctúa aproximadamente entre 200 y 400 casos, mientras que en el periodo epidémico está entre 1.000 y 1.400 casos. En promedio hubo 581 casos mensuales de malaria en Sifontes en el lapso completo, pero al separar por niveles se obtienen en promedio 285 casos mensuales para el nivel basal y 1174 para el nivel epidémico, lo cual representa un incremento de cuatro veces durante las epidemias de malaria.

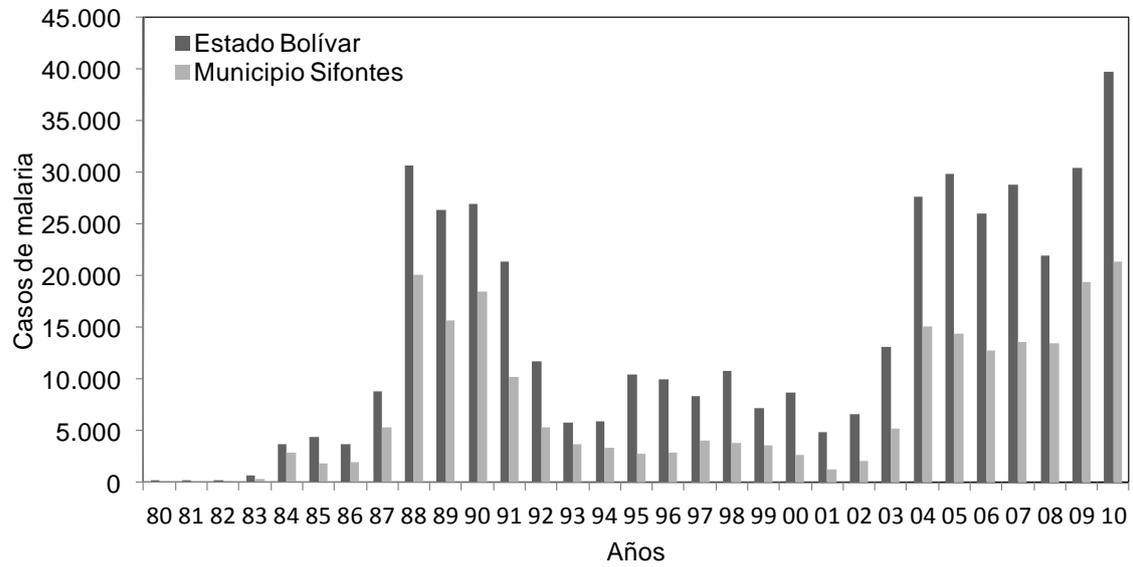


Figura 2.12. Casos de malaria en el estado Bolívar y el municipio Sifontes en el lapso 1980-2010

Tabla 2.3. Distribución de los casos de malaria anuales en el estado bolívar por municipio en el lapso 1990 a 2010

Municipio	Acumulado	Mínimo	Máximo	Promedio	% promedio
Cedeño	34.313	56	4.316	1.634	9,60
Heres	2.567	10	279	122	0,77
El Callao	9.616	1.310	20.227	8.553	47,08
Piar	32.739	111	6.210	1.559	7,43
Pedro Chien	27	0	16	26	0,01
Roscio	544	0	245	26	0,17
Angostura*	40.662	486	3.944	1.936	13,93
Sucre	30.388	321	2.873	1.447	10,33
Gran Sabana	25.583	0	4.415	1.218	8,20
Caroní	7.851	0	1.655	374	1,91
Estado Bolívar	364.627	4.858	37.405	17.363	100,00

Fuente: Dirección de Salud Ambiental del Estado Bolívar 1090-2010.

*Anteriormente Municipio Raúl Leoni

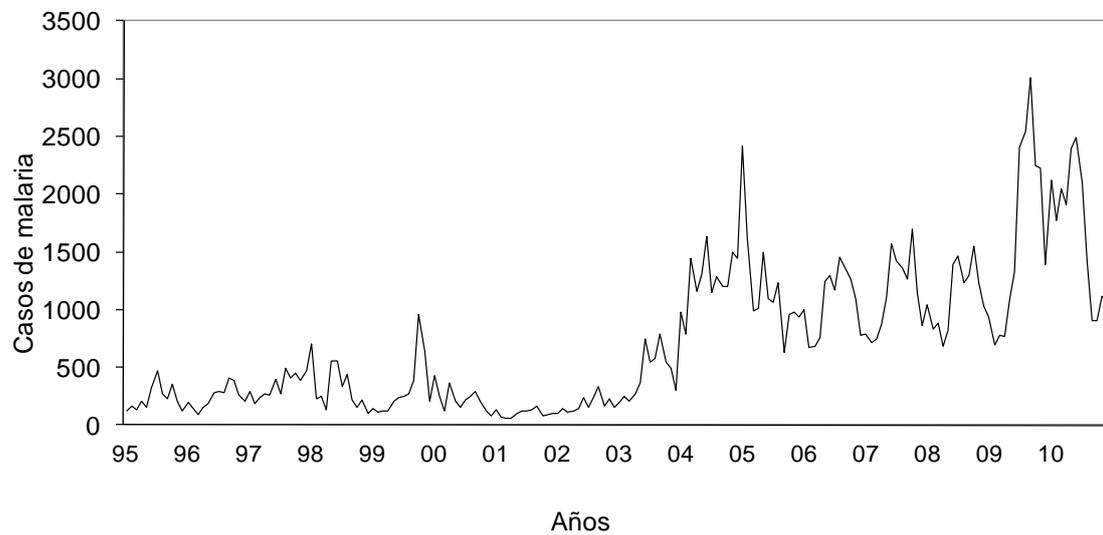


Figura 2.13. Serie de tiempo de los casos mensuales de malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1995-2010

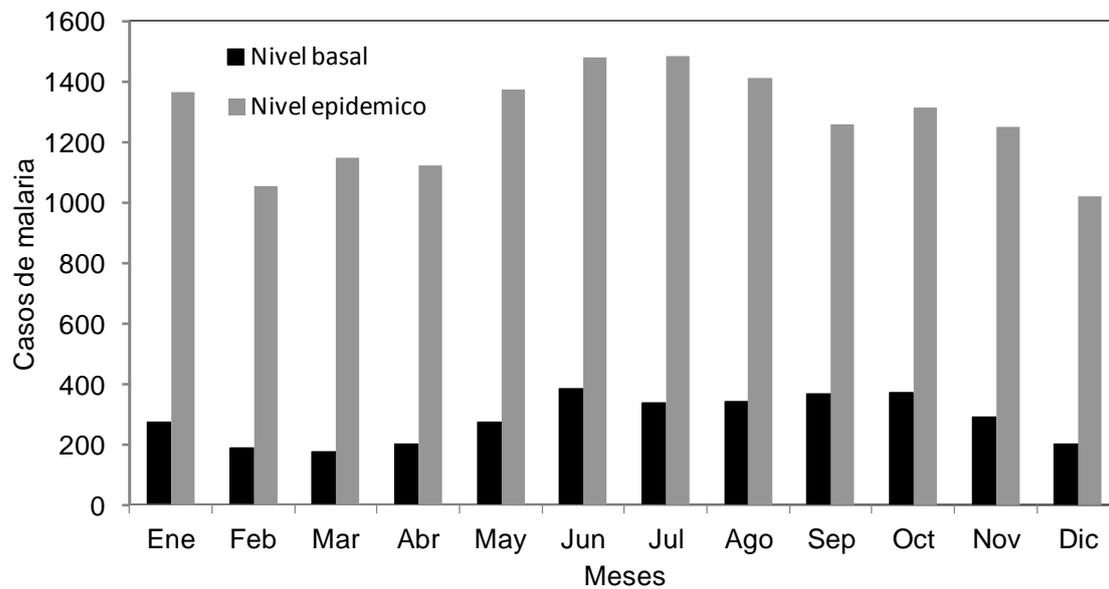


Figura 2.14. Promedios mensuales de malaria en el municipio Sifontes en el lapso 1990-2010

3.4 Análisis de la relación de la malaria con el clima

3.4.1 Análisis de regresión múltiple de los promedios de malaria versus variables climáticas

El análisis de regresión múltiple mostrado en la tabla 2.4, de los casos de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2003 a escala semanal agrupado en promedios, arrojó como resultado un modelo final con tres variables ambientales significativas, cuyo coeficiente de determinación ajustado R^2 explica 77% de la variación observada en los casos semanales de malaria. Según el modelo completo, en el cual fueron incluidas todas las variables climáticas disponibles, las variables regresoras humedad relativa ($p = 0,0007$), insolación ($p = 0,0444$) y nivel del río ($p = 0,0230$) tienen un efecto estadísticamente significativo en la variabilidad de los casos de malaria en ese lapso mientras que la lluvia, la temperatura máxima, media y mínima, no tienen valor predictivo para explicar la variación observada en los casos de malaria a escala semanal. En este sentido la variable regresora de mayor peso en la predicción de los casos de malaria, medido en función de su coeficiente de regresión, fue el porcentaje de humedad relativa media (0,76), seguido por la insolación (0,38) y el nivel del río (0,34). Asimismo, a pesar de que las variables de temperatura resultaron no significativas, el coeficiente de regresión de la temperatura media fue similar al de la insolación y el nivel del río, siendo su valor de probabilidad muy cercano al umbral de significación ($\alpha \leq 0,05$).

En cuanto a la validez del modelo, el análisis gráfico de los residuales confirmó que estos siguen un patrón de distribución normal, mientras que el

análisis de varianza confirma que la regresión entre los casos de malaria y las variables ambientales es estadísticamente significativa [(F(7,44) = 25,3, p = 0,0001]. No obstante, la confiabilidad de estos valores depende en gran medida de la pertinencia de las variables incluidas en el modelo, ya que los valores estimados no son aplicables en presencia de auto correlación en las variables regresoras; en este caso, el estadístico de Durbin-Watson (d=1,57) confirma que no hay auto correlación en los errores y por lo tanto el coeficiente de determinación R^2 no está sobrestimado y en consecuencia el modelo es correcto.

Otro aspecto que afecta el valor de las estimaciones y de los coeficientes de regresión, así como el poder predictivo de la ecuación, es la presencia de multicolinealidad en las variables independientes, lo cual las hace redundantes y provoca sobredefinición en el modelo (Chacín 1998). En este caso el valor de tolerancia para la temperatura máxima fue de 0,08; lo cual representa una redundancia de 92% en esta variable con respecto a las demás, siendo el coeficiente de regresión de ésta bastante bajo (0,06) e inferior a su correspondiente error estándar, lo cual dice que aporta muy poco a la explicación de la variabilidad y la hace poco apropiada para ser incluida en el modelo. Los valores de tolerancia para las demás variables varían entre 0,10 y 0,22, el de los coeficientes de regresión entre 0,13 y 0,76 (Tabla 8). Al eliminar la variable temperatura máxima (Tabla 2.5), los valores para los coeficientes de regresión, t, F y estadístico de Durbin-Watson se mantienen más o menos similares [R^2 Ajustado = 0,77; F(6,45) = 30,1; p < 0,0001; Durbin-Watson W =

1,58], pero los valores de tolerancia mejoran ligeramente, lo cual hace a los estimados más confiables y aumenta el valor predictivo de la ecuación de regresión. Asimismo, en el modelo corregido la variable temperatura media se hace significativa para ($\alpha \leq 0,05$), aumentando el número de variables significativas a cuatro.

Al realizar el mismo análisis para el lapso 1993-2005, el cual incluye el periodo de epidemia 2004-2005 (Tabla 2.6), disminuye ligeramente el valor predictivo de la ecuación, aunque sigue siendo bueno ($R = 0,54$, $F = 9,57$; $p < 0,0001$); asimismo la relación entre las variables varía notablemente, siendo que la única variable regresora significativa en el modelo es la humedad relativa media ($p = 0,0015$), con un coeficiente de regresión de 0,90. Esta variable fue consistentemente significativa en las tres regresiones realizadas, y su coeficiente de regresión se mantuvo siempre sobre 76%. A diferencia de lo que ocurre con la temperatura media, la insolación y nivel de río, variables que resultaron significativas en las dos primeras regresiones, la relación de la humedad relativa con los casos de malaria no parecer ser afectada por las situaciones de epidemia.

Tabla 2.4. Resultados del análisis de regresión múltiple completo de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2003

Variable	Coef. Regresión	Error Estándar	Tolerancia	t(44)	p
Intercepto				-3,612	0,0008
Lluvia	-0,125	0,1506	0,200	-0,831	0,4108
T. máxima	0,058	0,2394	0,079	0,244	0,8086
T. mínima	-0,178	0,1530	0,183	-1,166	0,2501
T. media	0,307	0,1749	0,148	1,758	0,0857
% HR media	0,764	0,2088	0,104	3,659	0,0007
Insolación	0,383	0,1849	0,132	2,070	0,0444
Nivel del río	0,335	0,1424	0,223	2,356	0,0230

Variable dependiente: Casos de malaria, Coeficiente de correlación R = 0,89; coeficiente de determinación R² Ajustado = 0,77; F(7,44) = 25,3; p < 0,0000; Durbin-Watson W = 1,57; N= 52

Tabla 2.5. Resultados del análisis de regresión múltiple parcial de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2003

Variable	Coef. Regresión	Error Estándar	Tolerancia	t(45)	p
Intercepto				-4,922	0,0001
Lluvia	-0,120	0,1477	0,203	-0,814	0,4201
T. mínima	-0,168	0,1448	0,212	-1,157	0,2536
T. media	0,335	0,1322	0,254	2,533	0,0149
% HR media	0,739	0,1720	0,150	4,279	0,0001
Insolación	0,404	0,1617	0,170	2,497	0,0163
Nivel del río	0,350	0,1270	0,275	2,759	0,0084

Variable dependiente: Casos de malaria, Coeficiente de correlación R = 0,89; coeficiente de determinación R² Ajustado = 0,77; F(6,45) = 30,1; p < 0,0001; Durbin-Watson W = 1,58; N= 52

Tabla 2.6. Resultados del análisis de regresión múltiple completo de los promedios semanales de malaria versus las variables ambientales en el lapso 1993-2005

	Coef. Regresión	Error Estándar	Tolerancia	t(45)	p
Intercepto				-2,107	0,0408
Lluvia	-0,126	0,235	0,162	-0,533	0,5970
T. maxima	-0,084	0,230	0,169	-0,362	0,7194
T. minima	-0,125	0,231	0,168	-0,537	0,5938
T. media	0,192	0,225	0,178	0,850	0,3999
% HR media	0,899	0,265	0,128	3,389	0,0015
Insolación	0,377	0,268	0,125	1,406	0,1668
Nivel del río	0,159	0,196	0,232	0,805	0,4254

Variable dependiente: Casos de malaria, Coeficiente de correlación R = 0,78; coeficiente de determinación R² Ajustado = 0,54; F(7,44) = 9,57; p < 0,0001; Durbin-Watson W = 1,51; N=52

3.4.2 Análisis de correlación simple de los promedios semanales de malaria versus variables climáticas

Al agrupar los datos por año y semana se obtuvieron series con los promedios de malaria y clima para 52 semanas en los dos lapsos señalados anteriormente. La figura 2.15 muestra la tendencia de los promedios semanales de malaria y lluvia para el lapso 1993-2005. La marcada diferencia entre los promedios de las dos series, provocada por los valores altos de malaria el periodo 2004-2005, dificulta la observación visual de algún patrón conjunto, no obstante el análisis de correlación Producto-Momento de Pearson revela un alto nivel de correlación en los promedios semanales de malaria y lluvia en este lapso (R = 0,42; p = 0,002). Al graficar las mismas series para el lapso 1993-

2003, excluyendo el periodo epidémico de 2004 y 2005 (Figura 2.16), se puede apreciar mejor el patrón conjunto de ambas curvas, observándose una tendencia muy similar en las dos series durante la primera mitad del año, comenzando a seguir tendencias opuestas después de la semana 35, y alcanzando puntos extremos alrededor de la semana 41. No obstante esta separación no es significativa según los resultados del análisis de correlación Producto-Momento de Pearson, el cual revela un alto nivel de correlación entre la malaria y la lluvia en el lapso señalado ($R = 0,35$; $p = 0,010$). La similitud en ambas tendencias se puede apreciar mejor al graficar, para el lapso 1993-2005, ambas series estandarizadas por medio de la función Z ($Z = (y - \bar{Y})/\hat{s}$), la cual agrupa los datos en una distribución con media uno y desviación estándar cero (Figura 2.17). Como era de esperarse, el resultado del análisis de correlación para los datos estandarizados no difiere del de la serie no estandarizada ($R = 0,42$, $p = 0,002$). Esta figura, y los resultados de las correlaciones para ambos lapsos, sugieren que la situación de epidemia parecer tener poco efecto sobre la relación entre la malaria y la lluvia, al menos para los promedios semanales, contradiciendo los resultados obtenidos para la serie de tiempo completa.

Con respecto a la relación entre los promedios semanales de malaria y los promedios de las otras variables climáticas, para el lapso 1993-2003 el análisis muestra valores de correlación altamente significativas para el nivel del río ($p < 0,0001$), las temperaturas media y máxima y la humedad relativa media, y significativa para la temperatura mínima ($p < 0,0001$), pero no

significativa para la insolación ($p > 0,05$) (Tabla 2.7). Para el lapso 1993-2005, la correlación resulto altamente significativa para el nivel del río ($p < 0,0001$), la temperatura mínima ($p < 0,05$) y la humedad relativa ($p < 0,0001$) únicamente, no siendo significativa para las demás variables. En ambos casos destaca el alto nivel de correlación alcanzado con el nivel del río, cuyo coeficiente de correlación fue similar y consistentemente elevado en los dos periodos evaluados.

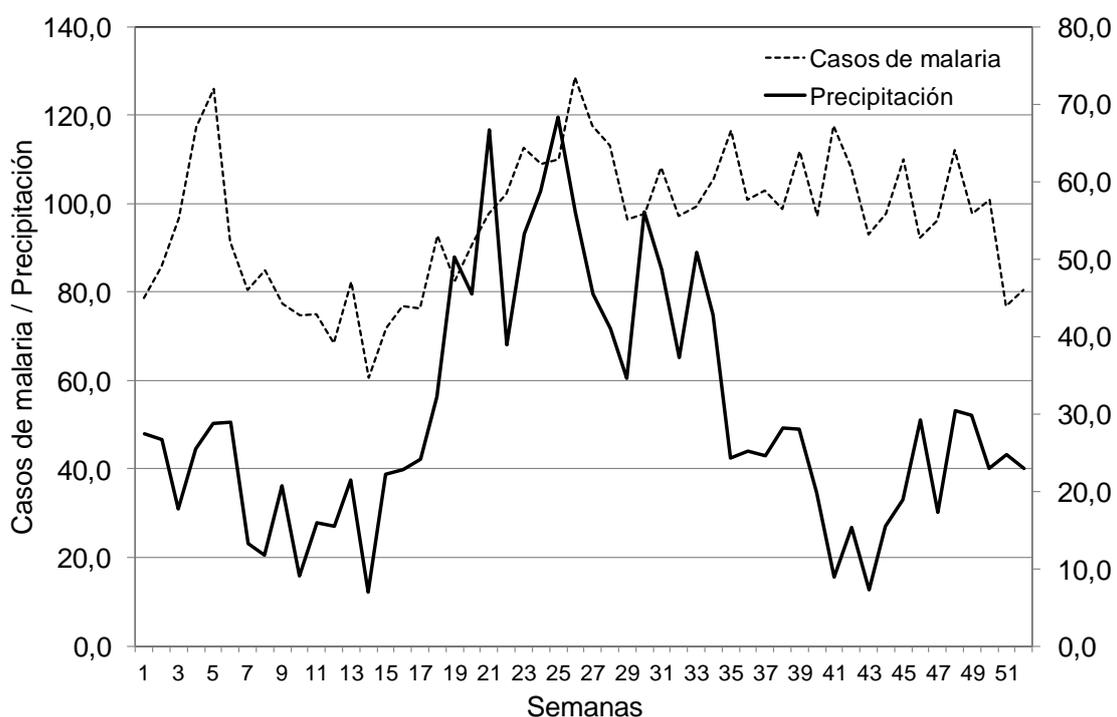


Figura 2.15. Promedios semanales de los casos de malaria y precipitación en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005

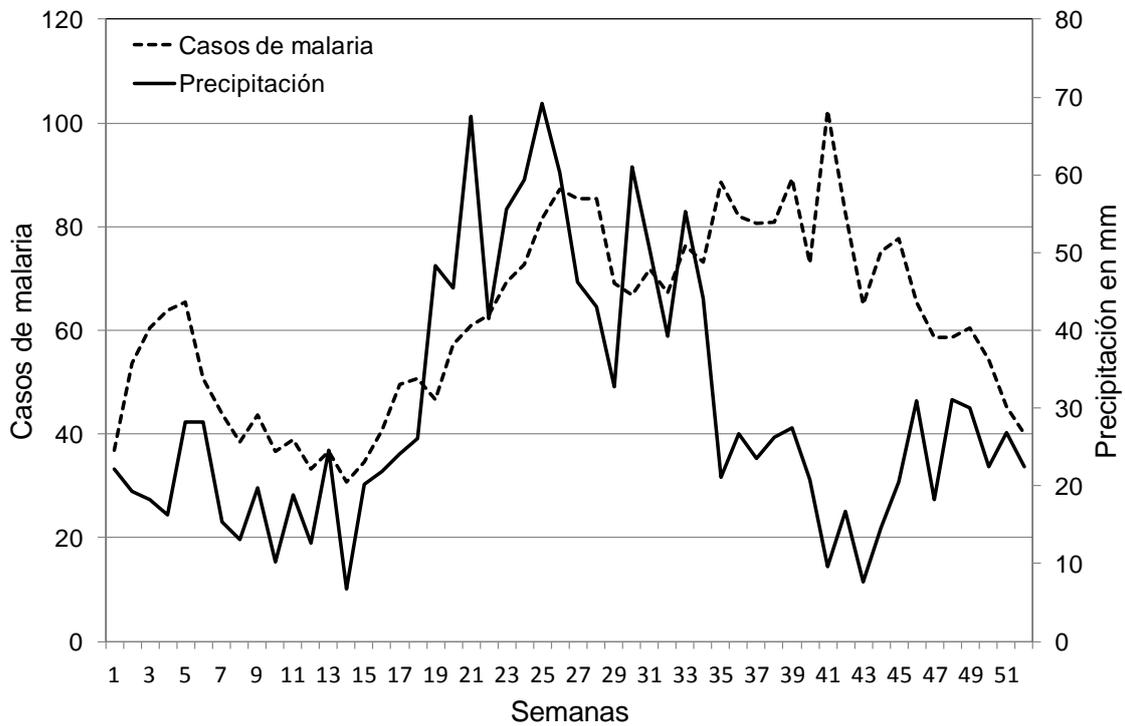


Figura 2.16. Promedios semanales de los casos de malaria y precipitación en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2003

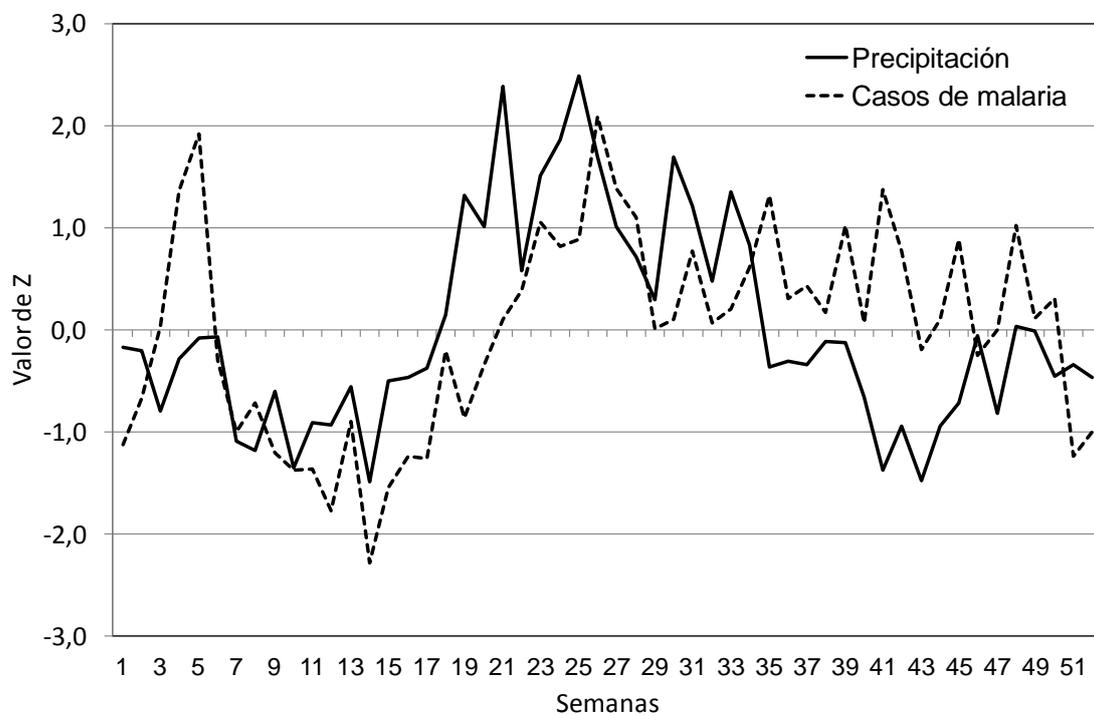


Figura 2.17. Promedio semanales de los casos de malaria y precipitación estandarizados en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005

Tabla 2.7. Valores del coeficiente de correlación Producto-Momento de Pearson entre los promedios semanales de malaria y variables climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes

Variable	Lapso 1993-2003		Lapso 1993-2005	
	R	p	R	p
Precipitación	0,35	0,010	0,42	0,002
Nivel de río	0,78	0,0001	0,70	0,0001
Temperatura media	0,48	0,0001	0,22	0,111
Temperatura máxima	0,37	0,007	-0,10	0,944
Temperatura mínima	0,28	0,043	0,33	0,016
Insolación	0,24	0,082	-0,19	0,892
Humedad relativa media	0,48	0,0001	0,61	0,0001

3.4.3 Análisis de series de tiempo de malaria versus clima a escala mensual

La figura 2.18 resume el patrón de la relación existente entre los promedios mensuales de casos de malaria y de lluvia acumulada en el municipio durante el lapso 1993-2005. Este grafico muestra cierta afinidad en ambas tendencias durante la primera mitad del año, lo que sugiere a primera vista un elevado nivel de correlación entre las variables durante este periodo, sin embargo, esta tendencia se rompe abruptamente durante la segunda mitad del año, de julio a diciembre, cuando disminuyen las lluvias pero no ocurre así con los casos de malaria. Una mejor aproximación de esta relación se puede obtener al graficar las series de tiempo correspondientes a los casos acumulados mensuales de malaria y la cantidad de lluvia caída en el mes, en el lapso señalado

anteriormente (Figura 2.19). Este gráfico revela poca correspondencia entre los picos de malaria y los picos de precipitación, particularmente a partir de enero del año 2004 cuando se presenta un brote epidémico y la casuística de malaria se eleva en forma abrupta despegándose de la curva de precipitación. Esta observación es corroborada por el análisis de correlación realizado entre las variables climáticas y la serie mensual de malaria (Tabla 2.8). Se obtuvo una correlación no significativa ($p > 0,05$) entre malaria y lluvia medida en la estación de Anacoco en el periodo 1993-2005; igualmente, al repetir el análisis entre ambas variables solo en el lapso 1993-2003 el resultado de la correlación aunque mejora ligeramente siguen siendo no significativa ($p > 0,05$), lo que sugiere que la condición de epidemia parece no tener ningún efecto sobre la relación entre malaria y lluvia a escala mensual, o lo que es igual, que la lluvia no tiene ningún efecto sobre los casos de malaria.

De manera análoga, al realizar el análisis para determinar la relación de la malaria mensual con el nivel del río mostrada en la figura 2.20, se observa que la relación entre ambas variables es estrecha en el lapso 1993-2003 en el periodo no epidémico, despegándose nuevamente la casuística de malaria a partir del año 2004, cuando se presenta la epidemia. Al contrario de lo que ocurre con la lluvia, esta vez sí se encontró una correlación altamente significativa ($p < 0,001$) entre los casos mensuales de malaria y el nivel del río en el lapso 1993-2003 pero no en el lapso 1993-2005 ($P < 0,05$), cuando se incluye el brote epidémico en el análisis (Tabla 2.8), lo que deja en evidencia que la condición de epidemia afecta notablemente la relación entre ambas

variables a escala mensual. Las curvas correspondientes a la precipitación y el nivel del río representadas en las figuras 2.19 y 2.20, muestran las fluctuaciones típicas correspondientes a las variaciones estacionales anuales, mientras que la curva correspondiente a los casos de malaria muestra un comportamiento irregular, con picos espaciados entre varios años y una clara tendencia a la alza a partir del año 2003.

En cuanto a otras variables climáticas, la tabla 2.8 resume los resultados del análisis de correlación entre éstas y los casos de malaria. Lo primero que destaca en los resultados es que hay diferencias notables en las correlaciones realizadas para el lapso 1993-2003 y para el periodo 1993-2005, que incluye el brote epidémico. De esta manera, en el primer periodo la correlación fue altamente significativa para la temperatura mínima ($p < 0,001$) y significativa para la temperatura máxima ($p < 0,05$), mientras que estuvo cerca del límite de significancia para la temperatura media ($p = 0,054$). En el periodo 1993-2005 sólo hubo una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) para la humedad relativa media lo cual, junto a lo observado para el nivel río, sugiere que si hay un efecto de la condición de epidemia sobre la relación de la malaria con las algunas variables climáticas.

Los resultados anteriores exponen que hay una correlación significativa de los casos mensuales de malaria con el nivel del río y la temperatura del mismo mes, pero no así con la precipitación. No obstante la intensidad de la correlación de la malaria con estas variables es débil, lo cual se manifiesta en un coeficiente bajo en todos los casos. Sin embargo, al realizar un análisis de

series de tiempo con rezago, se observa claramente que hay una correlación positiva altamente significativa ($p < 0,0001$) y con un elevado coeficiente, de los casos de malaria con la precipitación de uno ($R=0,81$) y dos meses ($R=0,83$) anteriores, medida en las estación de Anacoco (Tabla 2.9). Asimismo, no existe correlación significativa ($p > 0,05$) de los casos de malaria con ninguna de las demás variables climáticas en uno y dos meses anteriores, lo cual coincide con los resultados obtenidos para la correlación del mismo mes.

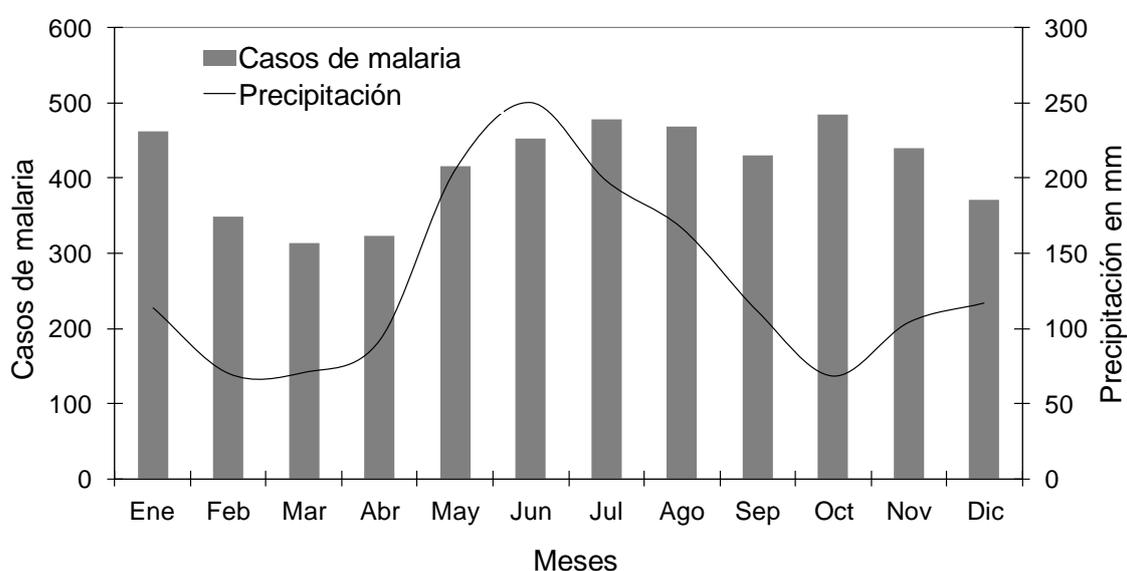


Figura 2.18. Promedios mensuales de los casos de malaria y precipitación acumulada en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005

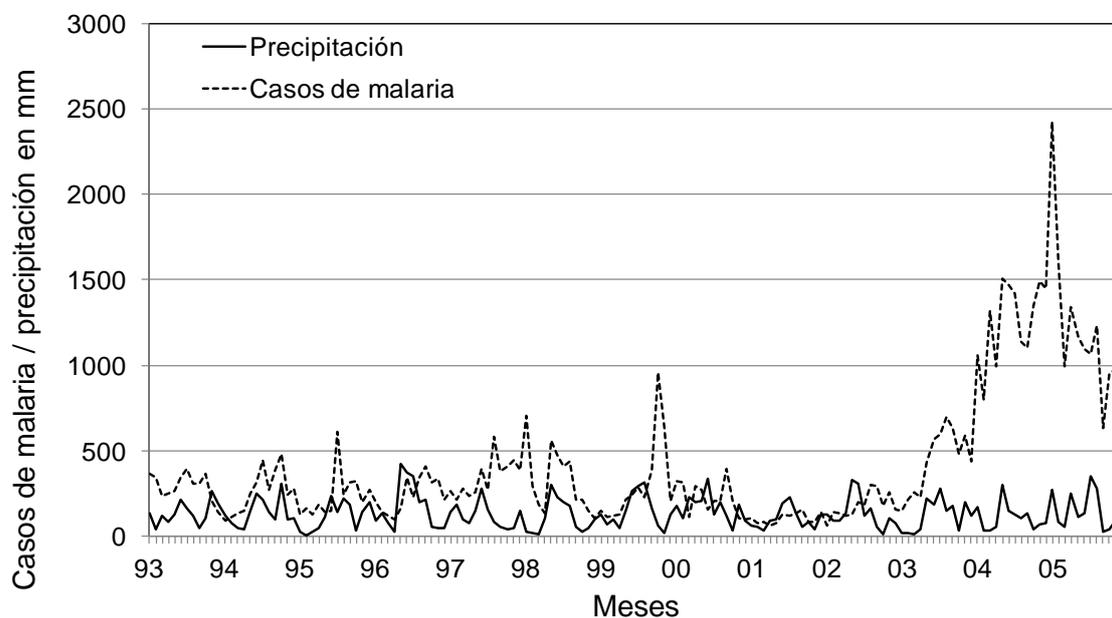


Figura 2.19. Casos mensuales de malaria y precipitación acumulada en el municipio Sifontes lapso 1993-2005

Tabla 2.8. Valores del coeficiente de correlación Producto-momento de Pearson entre la serie mensual de malaria y las variables climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes

Variable	Lapso 1993-2003		Lapso 1993-2005	
	R	p	R	p
Precipitación	0,13	0,126	0,07	0,432
Nivel de río	0,31	0,0001	0,12	0,135
Temperatura media	0,17	0,054	0,11	0,183
Temperatura máxima	0,20	0,022	0,08	0,332
Temperatura mínima	0,28	0,001	0,16	0,055
Insolación	0,06	0,479	-0,13	0,111
Humedad relativa media	0,07	0,461	-0,18	0,029

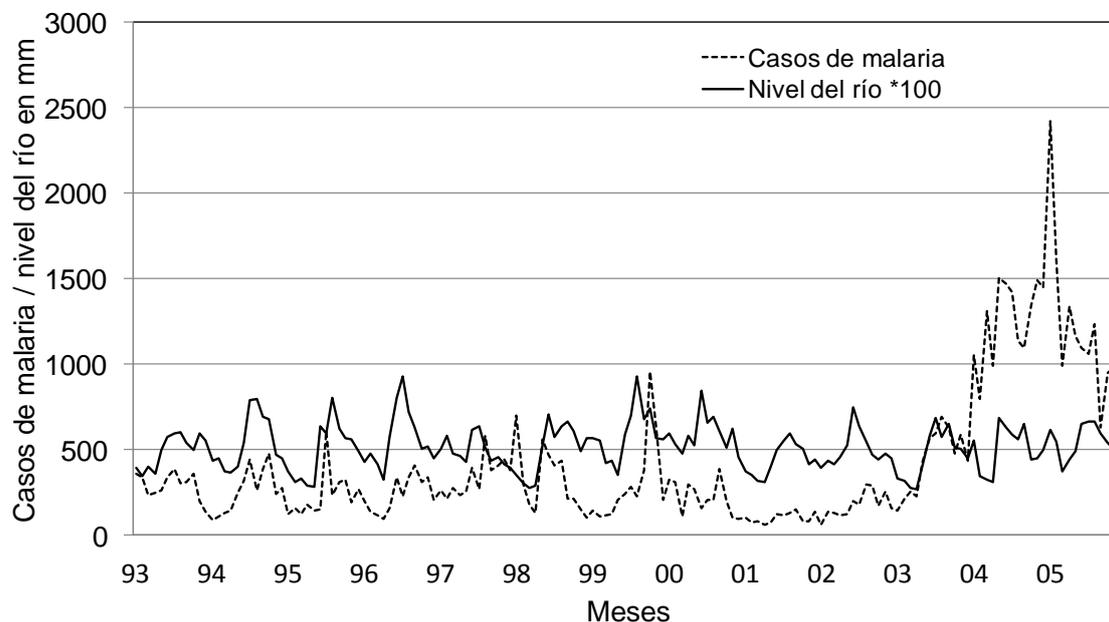


Figura 2.20. Casos mensuales de malaria y nivel del río en el municipio Sifontes en el lapso 1993-2005

Tabla 2.9. Resultados del análisis de correlación con rezago para uno y dos meses de la serie mensual de malaria y las variables climáticas medidas en la estación Anacoco en el lapso 1993-2003

Variable	1 mes		2 meses	
	R	p	R	p
Precipitación	0,806	0,0001	0,832	0,0001
Nivel de río	0,876	0,0667	0,977	0,4958
Temperatura media	0,867	0,0727	0,866	0,6333
Temperatura máxima	0,864	0,8228	0,863	0,4300
Temperatura mínima	0,869	0,0976	0,867	0,7677
Humedad relativa media	0,688	0,9913	0,689	0,4678
Insolación	0,850	0,5487	0,851	0,1902

3.4.4 Análisis de series de tiempo de malaria versus clima a escala semanal

Al observar las series de tiempo formadas por los acumulados semanales de malaria y precipitación mostradas en la figura 2.21, se observa mayor similitud en ambas tendencias en el lapso 1993-2003 que la observada en las series mensuales del mismo lapso, en ambas series se observa un comportamiento periódico de subidas y bajadas hasta el año 2004 cuando la serie de malaria toma una clara tendencia al incremento, despegándose de la serie de precipitación y entrando en una clara situación de epidemia. Análogamente, al realizar un análisis de correlación Producto-Momento de Pearson de la serie de malaria con cada una de las series de clima (Tabla 2.10), se encontró que para el lapso 1993-2003, la correlación tuvo resultados similares a los de las series mensuales, siendo altamente significativa ($p < 0,001$) para el nivel del río y los promedios de temperatura media, máxima y mínima, quedando la precipitación muy cerca del nivel de significación ($p = 0,067$) pero con un coeficiente de correlación muy bajo. Para el lapso 1993-2005, que incluye el periodo epidémico, los resultados difieren notablemente de los obtenidos con la serie mensual, esta vez la correlación fue altamente significativa ($p < 0,01$) para el nivel del río, la humedad relativa media y las temperaturas media y mínima, y significativa para la insolación ($p < 0,05$) (Tabla 2.10). No obstante, a pesar de los excelentes valores de significación, los coeficientes de correlación son muy bajos en todos los casos cuando esta es entre términos del mismo lapso, lo cual indica gran debilidad en dichas

correlaciones y parece sugerir que la condición de epidemia tiene un efecto de confusión en la relación de la malaria con el clima.

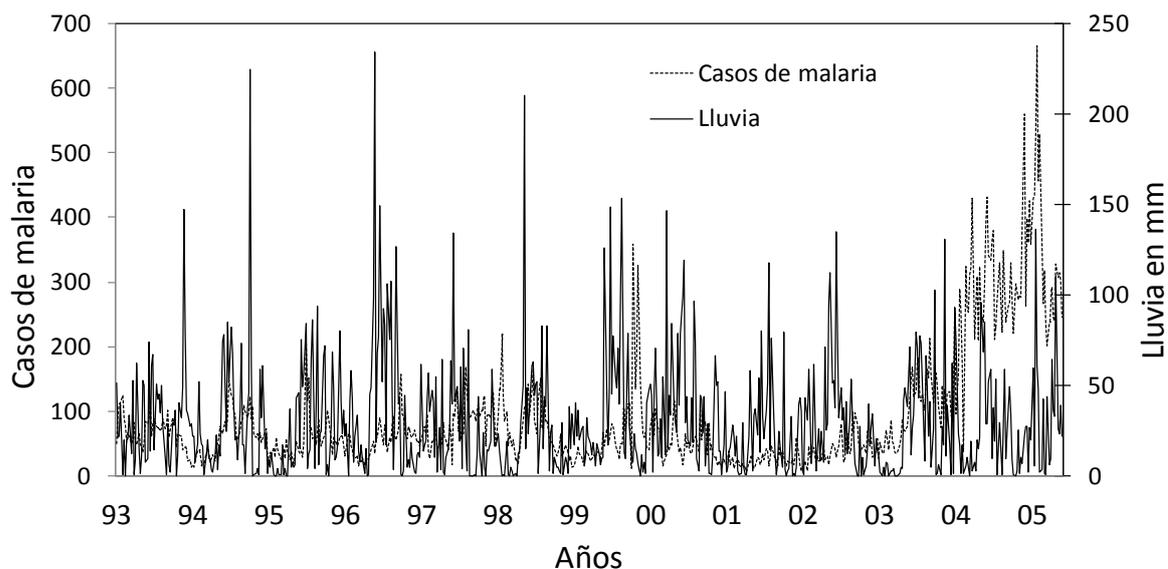


Figura 2.21. Acumulados semanales de malaria y lluvia durante el lapso enero 1993 a mayo 2005 en el municipio Sifontes del estado Bolívar

Tabla 2.10. Valores del coeficiente de correlación Producto-momento de Pearson entre la serie de malaria semanal y las series climáticas en el municipio Sifontes en dos lapsos diferentes

Variable	Lapso 1993-2003		Lapso 1993-2005	
	r	p	r	p
Precipitación	0,08	0,067	0,03	0,413
Nivel de río	0,28	0,0001	0,12	0,003
Temperatura media	0,20	0,0001	0,12	0,002
Temperatura máxima	0,14	0,001	0,07	0,063
Temperatura mínima	0,22	0,0001	0,13	0,001
Insolación	0,05	0,237	-0,08	0,047
Humedad relativa media	0,06	0,144	-0,17	0,000

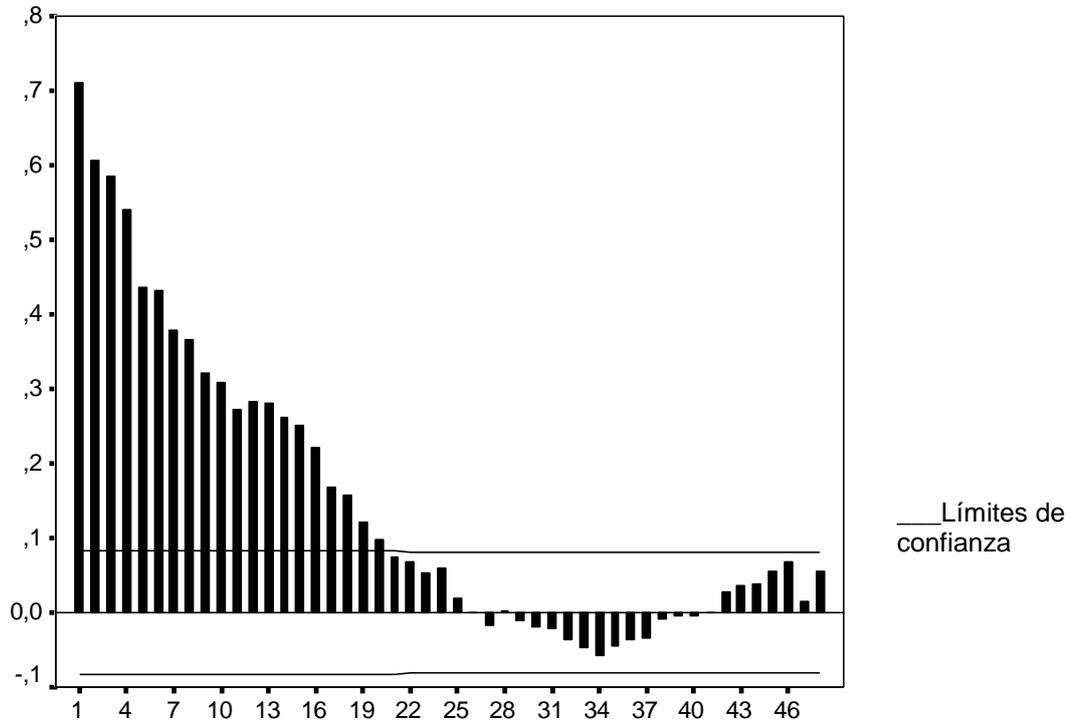
3.4.5 Correlaciones cruzadas con rezago

Una mejor aproximación a las relaciones entre la malaria y las variables climáticas expresadas en series semanales, se puede obtener al realizar correlaciones cruzadas entre variables, lo cual permite examinar con cuanto rezago afecta el clima a los casos de malaria. No obstante, antes es conveniente analizar las variaciones estacionales de la variable dependiente, es decir los casos semanales de malaria. En este sentido, la función de auto correlación aplicada a la serie semanal de los casos de malaria con un rezago (lag) de 48 semanas equivalente a un año (Figura 2.22A), muestra que de los términos ubicados entre la semana uno y la veinte están significativamente auto correlacionados y revela un patrón que se repite cada 24 semanas aproximadamente, lo cual identifica claramente una dependencia estacional de los casos anuales de la malaria. Sin embargo, al aplicar la función de auto correlación parcial a la misma serie, esta provee un patrón más claro, revelando que la dependencia serial ocurre sólo con rezago de tres semanas, siendo la correlación dominante la de la semana uno (Figura 2.22B).

Al realizar el análisis gráfico de correlación cruzada entre las series semanales de casos de malaria y precipitación, en los correlogramas se puede visualizar una correlación significativa hasta con un rezago de 13 semanas, mientras que con el nivel del río el rezago significativo fue hasta nueve semanas (Figura 2.23). Asimismo, para la temperatura máxima y la mínima hay un rezago significativo hasta las semanas 14 y 18, respectivamente (Figura 2.24), similar al rezago significativo de 16 semanas obtenido para la

temperatura media y bastante diferente al regazo significativo de cuatro semanas obtenido para la humedad relativa media (Figura 2.25).

A



B

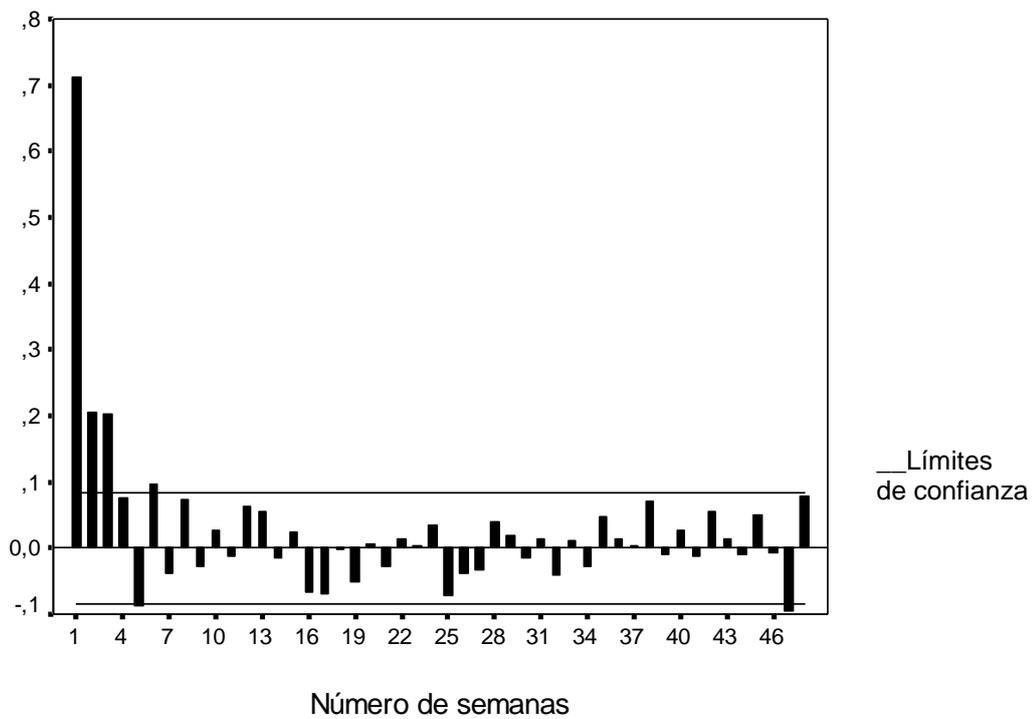


Figura 2.22. Función de autocorrelación (A) y autocorrelación parcial (B) para la serie semanal de los casos de malaria en el lapso 1993-2003 con rezago de 48 semanas

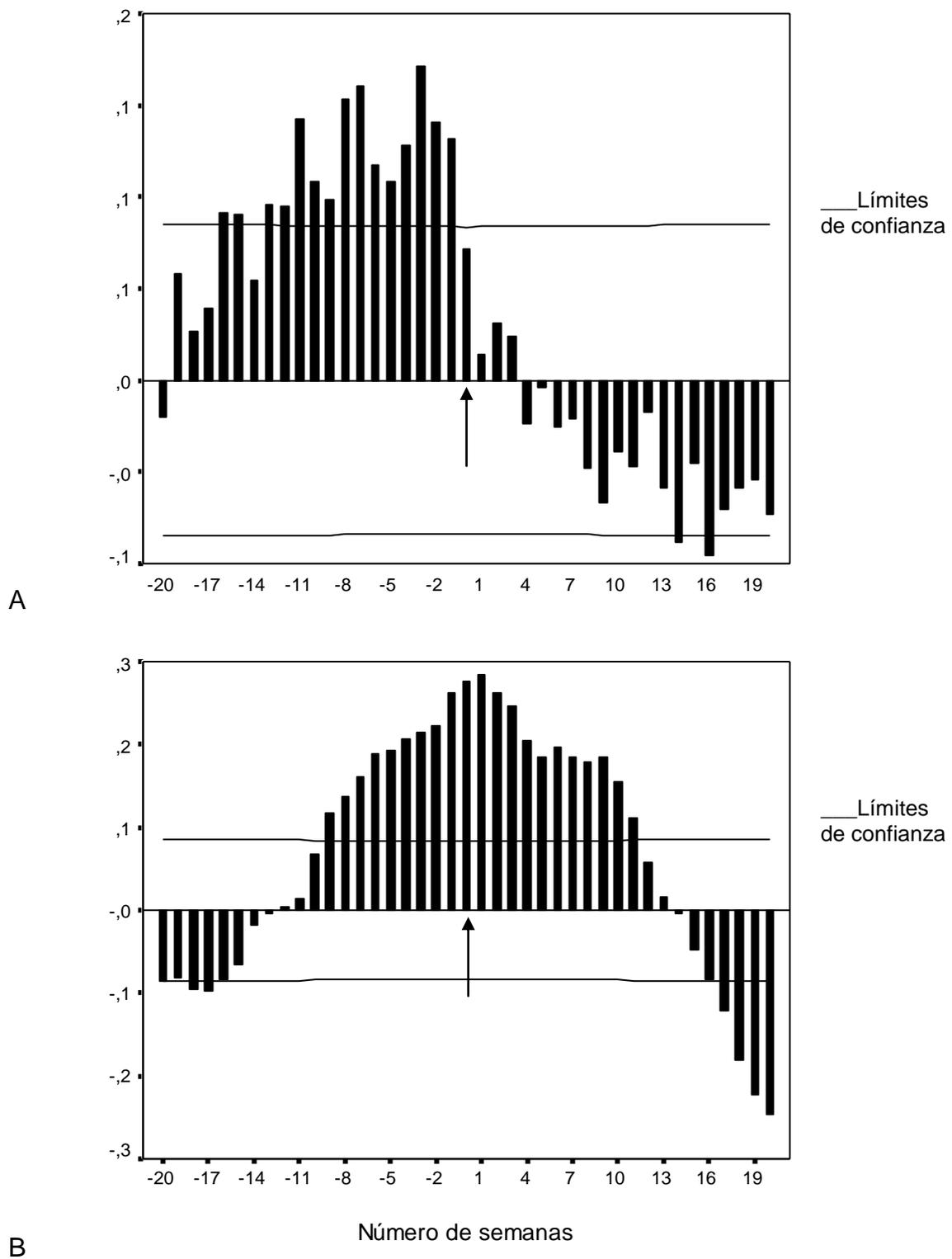


Figura 2.23. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la precipitación (A) y el nivel de río (B) en el lapso 1993-2003 con un rezago de 20 semanas. La flecha marca la semana cero

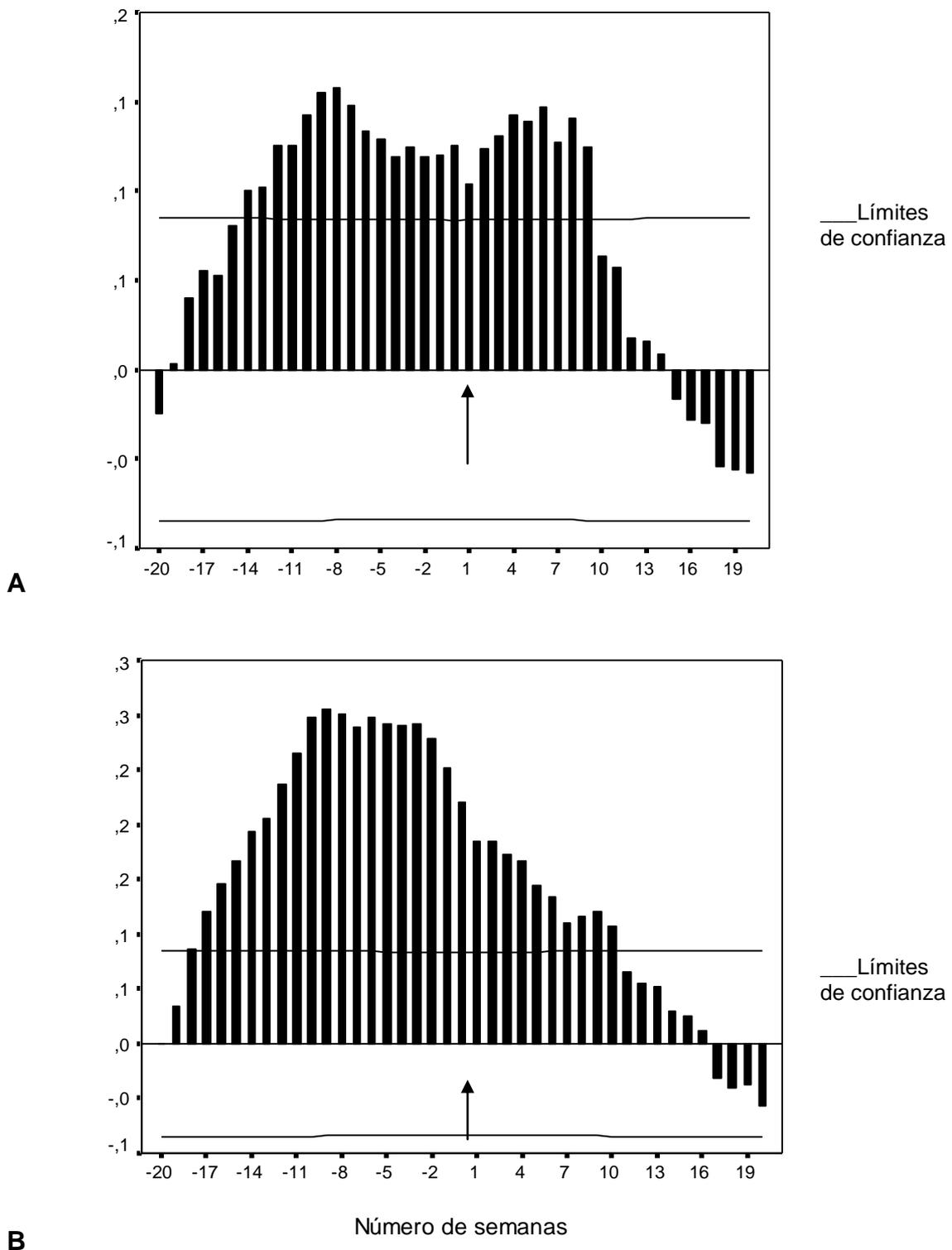
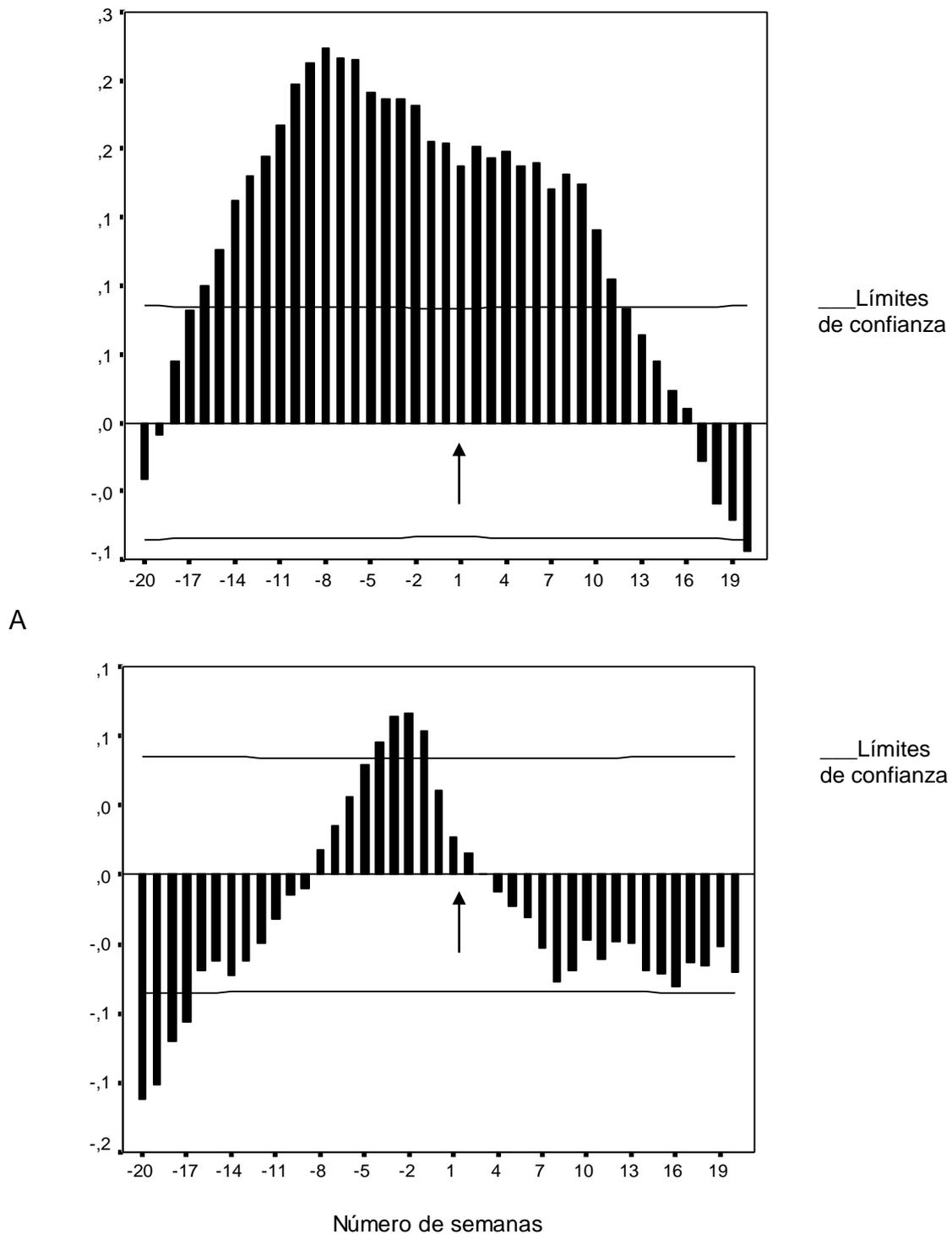


Figura 2.24. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la temperatura máxima (A) y la temperatura mínima (B) en el lapso 1993-2003 con un rezago de 20 semanas. La flecha marca la semana cero



B
Figura 2.25. Correlación cruzada de la serie semanal de los casos de malaria con la temperatura media (A) y la humedad relativa media (B) en el lapso 1993-2003 con un rezago de 20 semanas. La flecha marca la semana cero.

4. Discusión

Evolución de la malaria en el municipio Sifontes

Al analizar la evolución anual de la malaria en el estado Bolívar, lo primero que se evidencia en los datos es que a partir de 1983 la malaria en el estado depende en gran medida de la malaria generada en el municipio Sifontes, en términos proporcionales la malaria producida por el municipio Sifontes en el lapso 1990-2007, supera ampliamente toda la malaria producida por el resto de los municipios del estado en conjunto. Al revisar la distribución espacial de los casos de malaria en los diez municipios del estado Bolívar en este lapso, se observa que 45% de la malaria acumulada se produjo en el municipio Sifontes, 51% estuvo distribuida proporcionalmente en cinco municipios y el resto en los demás municipios, desatancándose el hecho de que en uno de ellos no ocurrieron casos de malaria en el lapso. Esta distribución demuestra claramente la naturaleza focal de la enfermedad en el estado, probablemente condicionada por factores humanos y ambientales, al respecto Grillet et al. (2009) afirman que el patrón espacial de la malaria es heterogéneo y de naturaleza focal y lo que a la vez condiciona la aparición de nuevos focos. Chowell et al (2009) sugieren que los brotes de malaria en la jungla norte de Perú estaban asociados a los patrones de movimiento de los comerciantes de madera, en el sur del país a la extracción de oro y en la costa a la producción de arroz debido a deficiencias en el drenaje de los sistemas de irrigación.

La serie de tiempo del promedio mensual de malaria en el lapso estudiado también revela el carácter endemo-epidémico de la enfermedad en

este municipio. El perfil de la malaria en este municipio, definido por cortos periodos epidémicos de picos abruptos, seguidos de largos periodos inter-epidémicos intercalados, es el característico de una zona de malaria inestable de baja endemicidad (Bruce-Chwatt 1980). La endemicidad de la malaria en esta área se establece en 1983, debido a factores socioeconómicos ligados a la explotación artesanal de oro, lo cual provoca la migración masiva de personas de diferentes lugares del país hacia esta zona, muchos de ellos provenientes de otras regiones endémicas del país y del exterior. Numeroso autores han propuesto que los factores demográficos de poblaciones humanas juegan un rol determinante en la transmisión de la malaria (Bouma 2003, Hay et al. 2002, Shanks et al. 2005, Chaves 2007). En esta zona se ha configurado un foco de malaria muy particular, propio de áreas de frontera económica donde el factor humano juega un papel preponderante, que coincide con lo que Gabaldón (1971) definió como *malaria inaccesible*, configurado por poblaciones humanas tales como mineros e indígenas, cuyas principales características son la alta movilidad, la carencia de residencia fija y viviendas construidas con materiales provisionales.

La observación de la evolución de la malaria en el municipio Sifontes, evidencia la existencia de dos niveles epidemiológicos para la malaria, un nivel basal no epidémico representado por aquellos años en los cuales la malaria se mantiene alrededor de 300 casos mensuales y un nivel epidémico, con años en los que el promedio mensual supera los mil casos. El comportamiento endemo-epidémico de la malaria en esta zona pudiera estar relacionado con el concepto

de malaria adicional definida por Gabaldon (1949), como la malaria producida por vectores que se reproducen en criaderos creados por el hombre, en adición a la malaria basal producida por vectores que se reproducen en criaderos de origen natural. En esta área, los criaderos artificiales, y en consecuencia la malaria adicional, pueden estar siendo generados por la alteración del paisaje ocasionada por la actividad minera que propicia la aparición de charcas con características adecuadas para la reproducción de *Anopheles marajoara* y otras especies oportunistas, en adición a *An. darlingi* el principal vector de malaria en este foco (Moreno et al. 2000, 2004, 2007). Esta condición ambiental, combinada con factores climáticos y las migraciones humanas temporales ocasionadas por la actividad minera, origina una malaria adicional en forma de brotes epidémicos que caracterizan el perfil epidemiológico de la malaria en este foco. Este fenómeno se ve reflejado en el perfil de la serie de tiempo mensual, cuyos picos epidémicos no son cíclicos, lo que sugiere que hay factores antrópicos que alteran la forma cíclica característica del perfil endemo-epidémico; por tal motivo, la malaria en esta zona ha sido catalogada como una enfermedad ocupacional (Ache 1998).

La estacionalidad de la malaria ha sido descrita como la acumulación de los casos en unos pocos meses, y que ocurre en aéreas donde la transmisión tiene un comienzo y un final en el lapso de un año definiéndose picos estacionales de malaria, usualmente asociados a factores ambientales (Roca-Feltre et al. 2009). En este sentido hay sitios que no presentan estacionalidad, sitios con leve estacionalidad y otros con marcada estacionalidad. Según Roca-

Feltre et al. (2009) en los sitios sin estacionalidad 50% de la malaria ocurre en seis meses de año, mientras que en los sitios de marcada estacionalidad 75% de los casos de malaria ocurren en seis meses o menos del año; en el caso del municipio Sifontes, la grafica de los promedios mensuales de malaria muestra que los casos están uniformemente distribuidos en todo el año sin acumulaciones y sin diferencias notables entre las estaciones del año. Esta distribución uniforme de la casuística de malaria a lo largo del año representa una contradicción, ya que según Smith et al. (1993), esta es una característica de sitios donde hay altas tasas de transmisión, y donde en consecuencia la prevalencia de malaria no varía por estación. Sin embargo, Roca-Feltre et al. (2009) definen como zonas de alta transmisión a aquellas que tienen tasas entomológicas de inoculación (TEI's) superiores a 100 picadas infectivas por persona por año (pipa), mientras que Griffin et al. (2010) han descrito zonas de alta transmisión en África cuyas TEI's varían entre 586 y 675 pipa. En el caso del municipio Sifontes se han determinado TEI's inferiores a 1.0 pipa (Moreno et al. 2009), muy por debajo de las 3.0 pipa reportadas por Griffin et al. (2010) para una zona de baja transmisión, lo cual significa que debe haber otros factores que explican la prevalencia de malaria en el municipio.

En cuanto a la prevalencia de malaria por especie de *Plasmodium*, en el área coexisten las tres especie de parasito con una clara predominancia de *P. vivax* con respecto a *P. falciparum* en una proporción de 60 a 40% respectivamente en condiciones de malaria basal, mientras que las epidemias ocurren a expensas de *P. vivax* pues durante los brotes epidémicos la

proporción de esta especie aumenta a 70%. La otra especie de parásito, *P. malariae* tiene una presencia marginal en el área, entre 1990 y 2000, solo cinco casos de infección causada por esta especie de *Plasmodium* fueron diagnosticados en el estado Bolívar, todos ellos considerados importados del estado Amazonas y de Guyana, pero en 2001 se diagnosticaron seis casos en el municipio Sifontes (Pacheco et al 2001). Debido a que la sintomatología de esta especie y la morfología es relativamente parecida a la de *P. vivax*, es muy probable que la baja casuística reportada sea debida a fallas en el diagnóstico. No obstante, la prevalencia de esta especie es frecuentemente baja en casi todos los focos donde ha sido reportada, estando en el municipio Sifontes siempre por debajo de 0.1%; no obstante, Magris et al. (2007a) reportaron una prevalencia de 17% en el Alto Orinoco en el estado Amazonas. *Plasmodium malariae* es una especie de zonas boscosas acerca de la cual se sabe muy poco, aspectos tales como su prevalencia real y su dinámica vectorial son desconocidos, requiriéndose de mayor investigación al respecto teniendo en cuenta que las infecciones por esta especie parecieran estar incrementándose en diversas áreas de su distribución geográfica.

Relación entre el clima y la malaria

El análisis de la relación de la malaria con el clima en este trabajo, fue enfocado desde dos puntos de vista complementarios. El primero, un análisis exploratorio para la búsqueda de variables explicadoras de la variabilidad en la data de malaria mediante modelos de regresión múltiple, y el segundo, un

análisis de la relación existente entre malaria y clima mediante el análisis de series de tiempo.

Análisis de correlación y regresión múltiple. En el caso del análisis de regresión múltiple un primer modelo con todas las variables no corregido explica 76,9% de la variación observada, en el cual la humedad relativa, la insolación y el nivel del río mostraron un alto valor predictivo de la variabilidad en la malaria, mientras que la lluvia y las temperaturas máxima y mínima, no tuvieron significación. Al corregir el modelo, por el nivel de tolerancia de las variables la eficacia del modelo se mantiene en 77%, y la temperatura media se suma al grupo de variables significativas. Al correr un segundo modelo, incluyendo el periodo epidémico ocurrido a finales del lapso 2003-2005, el porcentaje de variación explicada disminuye a 54%, con la humedad relativa como la única variable que consistentemente se mantiene altamente significativa, incluso mejorando notablemente su coeficiente de regresión.

Los resultados del análisis dan poco valor explicativo a la temperatura y la precipitación, contradiciendo la idea generalizada con respecto a la importancia de ambas variables en la trasmisión de malaria, lo cual ha sido ampliamente documentado para climas templados y tropicales (Abellana et al. 2008, Gaudart et al. 2009, Gomez-Elipe et al. 2007). Sin embargo, estos resultados no deberían sorprender, si se tiene en cuenta que no existe consenso en cuanto a que un incremento en la temperatura signifique un aumento en la incidencia de malaria, pues en algunas regiones del mundo otros factores como la demografía, la eficacia de los medicamentos y el uso de

la tierra pueden interactuar con el clima para modificar el potencial de transmisión en una zona (Pascual et al. 2006). Asimismo los resultados indican que, a pesar de que el modelo desarrollado explica un gran porcentaje de la variabilidad de las observaciones y confirma la importancia de variables como la humedad relativa, también demuestra que el efecto del clima sobre la transmisión de malaria es de naturaleza multifactorial, con cada una de las variables afectando a la malaria de manera diferente y en momentos distintos, en forma individual o combinada. En este sentido, Bouma et al. (1996) demostraron que en Pakistán la malaria era afectada por la acción combinada de la precipitación, la temperatura y la humedad relativa en diferentes momentos a lo largo de la estación de transmisión. Según estos autores el efecto de la disminución de las lluvias sobre los criaderos al comienzo de la estación, combinada con el efecto del aumento de la temperatura sobre el ciclo esporogónico y el aumento de la sobrevivencia de los mosquitos provocado por el incremento de la humedad relativa al final, junto con otros factores no climáticos, prolongaban considerablemente el periodo de transmisión. Igualmente Craig et al. (1999) demostraron que se necesita la acción combinada de la temperatura y la precipitación para favorecer o desfavorecer la transmisión de malaria en África Sub-Sahariana; es decir, en aéreas con un patrón de precipitación similar, la transmisión estaba determinada por los rangos de temperatura adecuada, mientras que en aéreas con temperatura similar la transmisión dependía de la estacionalidad de las precipitaciones. Zou et al. (2004) encontraron que había un efecto sinergista significativo de la lluvia

y la temperatura en la incidencia de malaria en Kenia, demostrando que estas variables por si solas no eran suficientes para explicar la variación en la malaria.

En el caso de la temperatura, se considera que las altas oscilaciones, menos de 22 ó más de 32 °C, perjudican el ciclo de transmisión de los parásitos maláricos, al afectar la duración del ciclo esporogónico de *Plasmodium*, la tasa de sobrevivencia de los mosquitos adultos y la duración de su fase larvaria (Craig et al. 1999, Paaijmans et al. 2009). En este sentido, se ha sugerido que a altitudes elevadas o en bajas latitudes, la temperatura mínima se constituye en el principal factor limitante de la transmisión, debido a que el ciclo esporogónico se interrumpe por debajo de 16 °C, creando condiciones para la aparición de áreas de malaria inestable, mientras que por otro lado, si la temperatura diaria excede los 40 °C los mosquitos reducen su actividad y los parásitos detienen su desarrollo (Gomez-Elipe et al. 2007, Hay et al. 2001). En el estado Bolívar, según Hernández (1987), la oscilación térmica anual no pasa de 3 °C, mientras que en el municipio Sifontes el promedio mensual de temperatura media, en el lapso 1993-2005 osciló entre 25,7 y 27,7 °C con un promedio de 26,9; por lo tanto, esta variable no debiera ser un factor limitante para la transmisión de malaria en esta zona. Por el contrario, la uniformidad en la temperatura explica en parte la transmisión de malaria durante todo el año en Sifontes, considerando que la temperatura óptima para el desarrollo de los mosquitos es de 25-27 °C (McMichael et al. 1998), similar a la registrada para el municipio Sifontes en el periodo de

estudio. En consecuencia, la falta de significación de las temperaturas máxima y mínima en el modelo de regresión obtenido para el municipio Sifontes, y el débil efecto que parece tener la temperatura media sobre las variaciones de la morbilidad por malaria, parece ser una consecuencia de la uniformidad de esta variable a lo largo del año en el territorio. Este resultado es corroborado por el análisis de correlación, el cual demuestra poca variación y un bajo nivel de correlación en los dos periodos evaluados; en el periodo 1993-2003 las temperaturas media, máxima y mínima resultaron significativas, mientras que en periodo 1993-2005 la temperatura máxima pierde significación. La relación entre la temperatura y la incidencia de malaria ha sido ampliamente documentada (Rahman et al 2010) No obstante, en este caso debido a que los coeficientes de correlación obtenidos son bajos, estos resultados deben ser tomados con cautela.

Con relación a la precipitación existe una fuerte tendencia a pensar que con las lluvias aumenta la transmisión de malaria (Gaudart et al, 2009, Gomez-Elipe et al. 2009), sin embargo la relación entre ambas variables no siempre es positiva, su naturaleza dependerá de la interacción de ambas con otras variables climáticas y ambientales, tales como paisaje y topografía. Es así como las bajas precipitaciones pueden estar asociadas al incremento de la incidencia de malaria del año siguiente en Venezuela (Bouma y Dye 1997), mientras que las lluvias copiosas y frecuentes durante la temporada de monzones en India, reducen la transmisión de malaria en esta región debido al lavado de los criaderos que arrastra las larvas y huevos de mosquitos (Githeko

et al. 2000). Estas diferencias en el efecto de las precipitaciones sobre la malaria está relacionada con las diferencias en la hidrología superficial de cada área, la topografía, la cobertura vegetal y a las especies de *Anopheles* (Bomblies et al. 2009). La relación entre lluvia y malaria es compleja y no siempre es predecible pues la lluvia tiene un efecto más directo sobre la abundancia de los mosquitos, y aun esta última relación tampoco es predecible, haciendo la relación entre lluvia, mosquitos y transmisión altamente confusa (Craig et al. 1999, Kristan et al. 2008). En este sentido, se ha determinado que la relación entre precipitación y malaria en la cuenca amazónica varia de signo espacialmente dependiendo de la región, siendo positiva la relación entre ambas en la regiones altas del suroeste donde los criaderos dependen de las precipitaciones, y negativa en los humedales bajos del norte a lo largo del río Amazonas, debido a que en esta zona los criaderos de mosquitos se inundan y lavan durante la época de lluvias (Olson et al. 2009). En el municipio Sifontes llueve durante casi todo el año, con un breve periodo de sequia de febrero a abril, y un pico mayor en las lluvias durante el mes de junio y uno menor en noviembre, cuando ocurre el fenómeno de lavado de criaderos descrito por Moreno et al. (2000). Esto podría explicar en todos los casos el cociente negativo de la precipitación en el análisis de regresión múltiple, sugiriendo que esta variable tiene poco valor para explicar las variaciones en la transmisión de malaria en esta área, o que las variables de mayor peso en el modelo, como la humedad relativa y el nivel del río, minimizan el efecto de la lluvia. Este hecho, que es corroborado por los

resultados del análisis de correlación simple, demuestra que hay poca relación entre la lluvia y el incremento o descenso de los casos de malaria en esta zona.

En cuanto a las otras variables significativas, fue un hallazgo sorprendente el valor predictivo de la insolación en el análisis de regresión; aunque este resultado deba ser tomado con cautela debido a que coeficiente de correlación entre ambas variables apenas fue de 40%. Poco se sabe sobre el efecto en la casuística de malaria que pudieran tener entre las horas de sol debido a que esta variable ha sido poco explorada, su efecto más bien podría ser sinérgico en combinación con la temperatura, la precipitación y la humedad relativa; con respecto a la influencia del sol sobre otras variables climáticas, Poveda y Rojas (1997) encontraron que la serie de insolación estaba fuertemente correlacionada con las anomalías del río Nare en Antioquia, Colombia. Con respecto a la humedad relativa, si bien su efecto sobre la actividad de los mosquitos, la sobrevivencia y la viabilidad de los huevos ha sido ampliamente ponderado, también es una variable poco explorada a la que usualmente se otorga un papel sinérgico en el efecto del clima sobre la malaria (Abellana et al. 2008, Hay et al. 2002, Kristan et al. 2008). Llama la atención que en este trabajo la humedad relativa media fue altamente significativa y la variable con el más alto coeficiente de regresión en todos los casos; 0,74 para el periodo 1993-2003 y 0,89 para el lapso 1993-2005. Además esta variable resultó significativamente correlacionada con la malaria de manera consistente, lo cual es un aspecto a resaltar. Xiao et al. (2010), reportan lo contrario al señalar que la humedad relativa no estaba relacionada con la incidencia de

malaria en la provincia de Hainan en China, al realizar análisis de correlación entre la malaria y variables climáticas a escala mensual. El resultado de estos autores podría ser debido a la escala de tiempo utilizada en su trabajo, puesto que se ha determinado que la escala de observación en este tipo de estudios debe ser inferior a un mes debido a que los ciclos biológicos de estas enfermedades y de los vectores requieren pocos días, por lo que una escala semanal es más apropiada para describir la relación entre estas variables (Sáez-Sáez et al. 2007). En todo caso, la preponderancia de la humedad relativa demostrada en este trabajo, tanto con la regresión como con la correlación, representa un hallazgo importante y resalta el valor de esta variable cuyo efecto sobre la incidencia de malaria debe ser investigado con mayor profundidad.

Con relación al nivel de río, la tercera variable en importancia en cuanto al coeficiente de regresión obtenido, los resultados indican que al igual que la insolación tiene un efecto sinergista junto con las otras variables en la modulación de la transmisión de malaria. Igualmente esta variable se mantuvo consistentemente significativa y mostró el coeficiente de correlación más elevado (0,78) en el lapso 1993-2003 de la serie semanal, manteniéndose consistentemente alto (0,70) cuando se incluye el periodo de epidemia en el lapso 2003-2005. La relación de esta variable con la malaria ha sido largamente estudiada por diversos autores, pero en todos los casos la constante parece ser la disponibilidad de criaderos que ofrecen la bajadas y subidas de los ríos ocasionadas por las precipitaciones, variabilidad que parece

ser controlada por la topografía, la cobertura vegetal y la hidrología superficial del área, lo cual conduce a diferencias en la formación de criaderos de anofelinos y su persistencia, tal como ocurre en Sudan con *An. arabiensis* (Ageep et al. 2009, Bomblies et al. 2009). Según Olson et al. (2009), en la Amazonía la correlación de la malaria con el nivel de río puede ser de signo positivo o negativo, dependiendo de la cuantía de las precipitaciones y la hidrología superficial, que es un factor clave en la abundancia de mosquitos vectores de malaria en las zonas bajas de la región amazónica, debido a que en esta región los criaderos de mosquitos están ubicados a lo largo de los grandes ríos, los cuales son demasiado profundos o son lavados durante el periodo de altas precipitaciones, mientras que en las zonas elevadas ocurre todo lo contrario. Igualmente Magris et al (2007b) reportan en el Alto Orinoco, en el estado Amazonas, una asociación positiva entre el nivel del río Orinoco y la abundancia de *An. darlingi*, debido a que los principales criaderos de esta especie están constituidos en esta zona por las grandes lagunas que se forman en la orilla por los desbordes del río. El hecho de que en el municipio Sifontes, el valor de correlación del nivel del río disminuya durante el periodo de epidemia, pudiera estar indicando que hay otros factores no climáticos determinares de la incidencia de malaria en este municipio. En esta área, el peso de esta variable parece ser limitado debido a que los criaderos principales de los mosquitos vectores de malaria en esta zona lo constituyen la charcas producidas por los mineros y no las charcas formadas a la orilla de los ríos, si bien también son importantes en algunos sitios (Moreno et al 2000). Una

situación similar ha sido descrita en Iquitos, Perú, donde la asociación de esta variable con la malaria estaba determinada por factores antropogénicos expresados en las limitaciones o facilidades que ofrecía las subidas y bajadas del nivel del río al desplazamiento de los trabajadores madereros por la selva y no por la disponibilidad de criaderos (Chowell et al. 2009).

En general el análisis de regresión múltiple demuestra que la casuística de malaria en esta área, está relacionada con una combinación de variables climáticas entre las cuales destacan la humedad relativa media, la insolación, el nivel del río, sin dejar de resaltar la importancia de la temperatura media. Resultados similares fueron reportados por Saez-Saez et al. (2007) quienes también con regresión múltiple demostraron que la malaria semanal estaba relacionada con una combinación climática formada por la precipitación y la temperatura en el estado Sucre, Venezuela, siendo estas las dos únicas variables exploradas en ese trabajo. Por otro lado, el análisis de correlación simple Producto-momento de Pearson mostró diferencias en los resultados cuando se utilizan diferentes escalas de tiempo, si bien los coeficientes de correlación fueron bastantes discretos en todos los casos. En la serie mensual, de tres variables significativas para el periodo 1993-2003, nivel del río, temperatura máxima y mínima, el numero se reduce a solo una, la humedad relativa, cuando se extiende el periodo de estudio hasta 2005, el cual incluye la epidemia ocurrida entre 2004 y 2005. La desaparición de la correlación en la mayoría de las variables, excepto la humedad relativa, cuando se incluyeron periodos con alta incidencia de malaria podría ser debida a que hay otros

factores involucrados en la transmisión además del clima durante las epidemias. Otro resultado interesante aparece cuando se utiliza la serie semanal en el análisis, produciéndose un incremento en el número de variables significativas en ambos periodos. Este resultado estaría confirmando la premisa de Saez-Saez et al. (2007) quienes propusieron que para series epidemiológicas la escala semanal es más adecuada para describir variaciones y relaciones con el clima debido a corta duración de los ciclos biológicos de los patógenos y vectores. En general, además del número de variables significativas, en la serie semanal hay dos aspectos que sobresalen, primero la consistencia significativa de la humedad relativa, aunque la relación sea de signo negativo, y segundo la falta de significación para la precipitación, resultado que coincide con los del análisis de regresión múltiple para ambas variables.

La falta de relación entre la malaria y algunas variables climáticas como la lluvia, parece indicar que la relación entre la malaria y las variables ambientales pudiera estar afectada por la evolución de la enfermedad, lo cual significa que la evolución de la casuística depende más de su propia dinámica que de causas externas, sin que el clima deje de ser importante. Según Laneri et al. (2010) no está muy claro hasta donde los ciclos anuales de la malaria son derivados del efecto climático o de la propia dinámica intrínseca de la enfermedad, los resultados de su trabajo en India evidenciaron un efecto significativo de la lluvia sobre las epidemias de malaria relacionadas con los monzones, al mismo tiempo que sugerían que la inmunidad en la población

estaba jugando un rol importante en la variación de la malaria anual. En el caso de la malaria en el municipio Sifontes, debe haber factores intrínsecos a la malaria no identificados señalados anteriormente por muchos autores, tales como la demografía poblacional, migraciones, actividad económica, deforestación, eficacia de los medicamentos e insecticidas e inmunidad en las personas; factores que eventualmente podrían estar actuando sobre la dinámica de la enfermedad e intermediando el efecto de la lluvia (Laneri et al. 2010, Pascual et al. 2006, Reiter 2008, Thomson et al. 2005). No obstante se considera este modelo como una primera aproximación bastante aceptable a la interpretación de la relación entre los cambios climáticos y la malaria a nivel local y que debe seguir siendo investigado.

Análisis de series de tiempo. Los resultados de los análisis de regresión y correlación sugieren que no existe un efecto directo e inmediato de las variables climáticas sobre la malaria, lo cual significa que esta relación pudiera estar siendo mediada por el tiempo. En este sentido, el análisis de correlación cruzada con rezago de las series de tiempo de malaria y variables climáticas a escala semanal confirma que en el municipio Sifontes el clima ejerce un efecto retardado sobre la transmisión de malaria.

En primer lugar, un análisis de auto correlación evidenció dependencia serial de hasta 20 periodos en la serie semanal de casos de malaria, demostrando esto que los casos de malaria ocurridos dentro de un lapso de cinco meses están auto correlacionados, sugiriendo algún grado de estacionalidad. Sin embargo, este hecho es discutible debido a que el

coeficiente de auto correlación va decreciendo gradualmente en ese lapso, por lo que la correlación es más fuerte entre los primeros periodos, siendo difícil establecer cuan largo realmente es el periodo de auto correlación. En este caso, la función de auto correlación parcial provee un patrón más claro, revelando que la dependencia serial ocurre sólo entre las tres primeras semanas hacia atrás, es decir menos de un mes, siendo la correlación dominante la de la semana inmediata anterior. Resultados similares de un mes han sido reportados por Wangdi et al. (2010) en Bután y Gómez-Elípe et al. (2007) en Burundi, mientras que Zhou et al. (2004) encontraron que los casos de malaria en las tierras altas del este de África estaban correlacionados significativamente con los casos de uno y dos meses anteriores. Sin embargo, Sáez-Sáez et al. (2009) reportaron resultados muy diferentes para el municipio Sifontes, estos autores consiguieron auto correlación significativa entre los casos de malaria de una serie hasta los 26 meses anteriores, concluyendo que el clima tiene un efecto retardado de 4 a 10 meses sobre la incidencia de malaria en esta área. El periodo de rezago reportado en ese trabajo parece ser excesivamente largo, teniendo en cuenta que el área presenta condiciones favorables para la transmisión de malaria prácticamente durante todo el año, por lo que el resultado podría ser un artefacto de la escala de tiempo mensual utilizada en el análisis.

Al realizar el análisis de correlación cruzada entre la serie de malaria con la de las variables climáticas, los resultados difieren para una u otra variable. De este modo, en el caso de la precipitación el rezago significativo obtenido de

hasta 13 semanas, equivalente a más o menos tres meses, estando dentro de los rangos reportados en otros estudios (Gómez-Elipe et al. 2007, Hay et al. 2001, Ruiz et al. 2010, Xiao et al. 2006, Zhou et al. 2004). No obstante, evaluar el efecto de las precipitaciones sobre la morbilidad de malaria de forma aislada puede resultar engañoso, pues el efecto sinérgico de la precipitación con otras variables climáticas, particularmente la temperatura y la humedad relativa, ha sido ampliamente documentado. Según esta teoría, los factores climáticos clave tales como la precipitación, la temperatura y la humedad relativa, no pueden ser observados independientemente, ya que la temperatura es modificada por la humedad relativa y ésta a su vez está estrechamente relacionada con la precipitación (Craig et al. 1999, Reiter 2008). En este sentido, Zhou et al. (2004) encontraron un efecto sinérgico altamente significativo de la interacción entre lluvia y temperatura sobre la incidencia de malaria en África, concluyendo que estas variables por si solas pueden resultar poco sensitivas para detectar anomalías relacionadas con las epidemias de malaria. Igualmente, Ruiz et al. (2006) sugieren que la temperatura y la precipitación son variables que deben tener un efecto sinérgico sobre la transmisión de malaria, en un escenario dominado por la densidad de mosquitos, debido al conocido efecto de estas variables sobre la supervivencia de los vectores.

Los resultados de la correlación de los casos de malaria con la lluvia y la temperatura de diferentes lugares del mundo, en general, varían de uno a tres meses de rezago significativo. Gómez-Elipe et al. (2007) reportaron un mes de

rezago significativo para la precipitación y la temperatura máxima en Burundi, mientras que Wangdi et al. (2010) en Bután, también reportan un mes de rezago significativo, pero sólo para la temperatura máxima. Zhou et al. (2004) encontraron uno y dos meses de rezago significativo para la lluvia y de dos a cinco meses para la temperatura máxima y la mínima en África Oriental, mientras que Xiao et al. (2010) en China reportaron correlación con uno y dos meses anteriores para las mismas variables e incluyen a la temperatura media entre las variables significativas. Hay et al. (2001) en Kenya reportan tres meses de rezago significativo con la precipitación, mientras que Ruiz et al. (2006) en Colombia reportaron un mes de rezago para la temperatura media mensual y hasta tres meses para la precipitación. Uno de los reportes con el tiempo más largo es el de Laneri et al. (2010) en India, quienes encontraron que la máxima correlación de los casos de malaria con la lluvia acumulada ocurría en los cinco a seis meses previos.

En Venezuela Sáez-Sáez et al. (2007), a diferencia de las trece semanas de rezago significativo encontrado para el municipio Sifontes en este trabajo, encontraron que el rezago de una semana resulto significativo en la relación de los casos de malaria con la lluvia y la temperatura del aire en el estado Sucre, lapso bastante corto, en el caso de la lluvia, si se tienen en cuenta los ciclos biológicos de los mosquitos y los parásitos involucrados en la transmisión de malaria. La misma consideración puede ser válida para la temperatura del aire, variable con la cual los correlogramas obtenidos para el municipio Sifontes muestran una correlación significativa con un rezago de 14 y

18 semanas para la temperatura máxima y la mínima respectivamente, y de 16 semanas para la temperatura media, lapsos similares a los reportados para otros lugares en la literatura.

Una variable clave en el ciclo de transmisión de la malaria por su efecto directo en la actividad y sobrevivencia de los mosquitos adultos, es el porcentaje de humedad relativa en el aire. Ventosilla et al. (2008) encontraron que un modelo ARIMA desarrollado a partir de un Componente Principal (PCA), formado por la temperatura máxima, la media y la mínima mas la humedad relativa, explicaba alrededor de 78 % de la variación en la incidencia de malaria en un área endémica de Perú. Sin embargo, a pesar de su reconocida importancia, esta variable es difícil de relacionar con los casos de malaria y frecuentemente es reportada como no significativa cuando es incluida en los modelos. Wangdi et al. (2010) y Xiao et al. (2010) en trabajos independientes incluyeron datos de los meses previos de esta variable en un modelo junto con la precipitación y la temperatura para predecir los casos de malaria en Bután y la provincia de Hainan en China, respectivamente, siendo la humedad relativa la única variable que resultó no significativa en ambos casos. En el caso del municipio Sifontes, la humedad relativa junto con la precipitación, deben estar jugando un rol principal en la transmisión de la malaria, ya que en este caso la temperatura, debido a la uniformidad topográfica del área no debe constituir un factor limitante, a pesar de que hay autores que afirman que un leve cambio en la temperatura, de hasta medio grado, puede significar un gran incremento en la abundancia de mosquitos (Patz y Olson 2006). De allí que el rezago

significativo de cuatro semanas obtenido para la humedad relativa en este trabajo sea un resultado destacable.

Otra variable no muy frecuentemente explorada en los estudios de relación de malaria y clima, es el nivel del río. Esta es una variable cuya influencia en la transmisión de malaria, necesariamente tiene que estar estrechamente relacionada con la topografía el paisaje y la cobertura vegetal del área del estudio. En el caso del municipio Sifontes, la relación de la malaria con el nivel del río debe ser indirecta, ya que los criaderos de los principales vectores del área, son charcas y lagunas que pueden estar de alguna forma relacionadas con el río en la mayoría de los casos, tal como ha sido descrito por Moreno et al. (2000) en el estado Bolívar y Magris et al. (2007b) en el estado Amazonas. En este caso, la correlación significativa con nueve semanas de rezago encontrada con el nivel del río, puede ser explicada de dos maneras diferentes las cuales actúan en sinergia sobre la variabilidad de los casos de malaria. En primer lugar, la presencia de inundaciones ocasionadas por el desborde tiene un efecto ambivalente sobre las poblaciones de mosquitos, ya que primero ocasiona el efecto de lavado y luego con el tiempo provee criaderos de mosquitos e incrementa las oportunidades de reproducción de los vectores y lo cual justificaría el rezago, tal como ha sido descrito para otros lugares de la Amazonía, (Olson et al. 2009). En este sentido Magris et al. (2007b) encontraron que existía una correlación significativa con rezago de un mes entre la abundancia de *An. darlingi* y el nivel del río Orinoco, en el Alto

Orinoco, debido a que los criaderos de esta especie estaban constituidos por las lagunas que quedaban a la orilla del río después de las inundaciones.

En segundo lugar, las crecidas y bajadas de los ríos por efecto de las lluvias, tienen un efecto directo sobre las variaciones de densidad de población humana expuesta a riesgo en las áreas mineras, siendo este un factor clave en la transmisión de malaria en esta zona. Igualmente en esta caso el efecto es ambivalente, por un lado, las inundaciones severas y las sequias extremas impiden el trabajo de los mineros por exceso o falta de agua para el trabajo, lo cual los obliga a emigrar en ambos casos, y por otro lado, las variaciones del nivel del río, facilitan o dificultan la movilización de las personas y materiales. Una situación similar ha sido descrita por Chowell et al (2009), quienes sugieren que los brotes de malaria en la región de Iquitos en el norte de Perú, están asociados a los patrones migratorios de trabajadores de la madera y mineros, cuyos movimientos son facilitados o limitados por las crecidas estacionales del río Navay.

En general con los resultados del análisis de correlación con rezago se verifica el efecto retardado del clima sobre los casos de malaria, dentro de los lapsos reportados por otros autores para otros lugares del mundo. Las diferencias con respecto a los trabajos referidos pueden ser atribuidas a las diferencias topográficas, paisajísticas y climáticas entre regiones. Asimismo se confirma la importancia de variables como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, y particularmente en este caso del nivel del río, considerándose estas variables como las principales moduladoras de la

morbilidad por malaria en el área de estudio, en acción combinada entre ellas y con otras variables ambientales como la vegetación, la topografía y la hidrología superficial. Igualmente, al interpretar los resultados, hay que tener en cuenta el factor humano, el cual consideramos, es preponderante en esta área endémica. Aspectos como el efecto de las migraciones humanas, comportamiento y estado inmunológico sobre la transmisión de malaria deben ser estudiados. En todo caso, se considera este estudio como una primera aproximación al problema, cuyos resultados pueden ser el punto de partida para profundizar en el tema.

5. Conclusiones

1. La casuística de malaria en los últimos quince años del lapso estudiado en el estado Bolívar, ha estado estrechamente relacionada a la malaria originada en el municipio Sifontes, la cual en promedio históricamente ha constituido alrededor de 70% de la malaria generada en el estado en ese lapso.
2. Las series de malaria en el municipio Sifontes, revelan que esta tiene un perfil de malaria endemo-epidémica, no estacional, con un nivel de malaria basal y brotes epidémicos intercalados, y con una fuerte tendencia al incremento en los últimos siete años del lapso estudiado.
3. A diferencia de otros estudios, los análisis de regresión múltiple y de correlación destacan la importancia de la humedad relativa y el nivel del río como factores clave en la explicación de la variabilidad de casuística de malaria en el área.
4. Los resultados del análisis de regresión múltiple y correlación simple revelan que, contrario a lo esperado, la lluvia y la temperatura no tienen un papel preponderante en la transmisión de malaria en esta zona, su acción pudiera estar siendo mediada por otras variables ambientales.
5. La falta de significación de las temperaturas máxima y mínima en el modelo de regresión obtenido para el municipio Sifontes, y el débil efecto que parece tener la temperatura media sobre las variaciones de la morbilidad por malaria, parece ser una consecuencia de la uniformidad de esta variable a lo largo del año en el territorio

6. Los análisis de correlación con rezago, revelan que hay un efecto temporal en la acción del clima sobre los casos de malaria en el Municipio Sifontes del estado Bolívar, el tiempo de retardo en el efecto cambia de una variable climática a otra.
7. Los resultados del estudio sugieren que las variables climáticas actúan en combinación unas con otras en acción sinérgica, por lo tanto, deben ser analizadas mediante técnicas integradoras con la utilización de índices climáticos, no de manera aislada.
8. El clima es un factor importante pero no suficiente para explicar la variabilidad de la casuística de malaria en el municipio Sifontes del estado Bolívar, variables inherentes al factor humano y otras variables ambientales deben ser incorporadas.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE LAS FLUCTUACIONES POBLACIONALES DE ANOFELINOS

1. Introducción

En el área de estudio de esta propuesta, el municipio Sifontes del estado Bolívar, se han llevado a cabo algunos estudios de ecología de anofelinos. Uno de ellos es el de Berti *et al.* (1998b), quienes en un inventario preliminar reportaron 10 especies de *Anopheles*, entre las cuales destaca *An. darlingi* Root considerado el vector principal de malaria en la región. A partir de 1998, se han venido realizando una serie de trabajos de investigación en esta área que han permitido recopilar datos acerca de la identidad, biología y ecología de las especies de *Anopheles* presentes en el área, tanto de larvas como de adultos. Al respecto, Moreno *et al.* (2000) en un estudio de identificación de criaderos de anofelinos, reportan la presencia en el área de 12 especies de *Anopheles*, estando entre las especies más abundantes, en orden decreciente, *An. triannulatus* Neiva y Pinto, *An. marajoara* Galvão y Damasceno y *An. darlingi*, correspondiendo a la primera especie el 68% del total colectado. Recientemente se anexó *An. costai* (Fonseca y Ramos) a la lista de especies presentes en el área (Moreno y Rubio-Palis 2003). Asimismo, Moreno *et al.* (2000) describen los principales tipos de criaderos de anofelinos en la zona, concluyéndose que las lagunas y los pozos producidos por la actividad minera constituyen los principales criaderos para *An. marajoara* y *An. darlingi*, especies posiblemente involucradas en la transmisión.

Adicionalmente, fue descrita la relación existente entre ciertas especies de vegetación acuática y la frecuencia de las especies de anofelinos, así como con otras variables físicas y fisicoquímicas que se asocian a su presencia. En este estudio, mediante un análisis de correspondencia canónica, se investigó la existencia de asociación positiva entre estas dos especies de *Anopheles* y las plantas acuáticas de los géneros *Utricularia*, *Mayaca*, *Salvinia*, *Eicchornia*, *Pistia*, *Eleocharis* y gramíneas en general (Moreno 2000). Los estudios longitudinales de poblaciones de anofelinos en esta aérea son muy pocos, el que más se acerca a esta definición es el de Berti et al. (2008), quienes determinaron el patrón de fluctuación poblacional mensual de *An. darlingi* en la zona, encontrando que si bien la especie estaba presente durante todo el año, era más abundante durante los meses de menor pluviosidad. Observaciones preliminares en el área de estudio han permitido determinar como el aumento del caudal de los ríos, una vez estabilizados, permiten la acumulación de vegetación flotante en la superficie, particularmente *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, que proveen a los mosquitos de criaderos excelentes, asimismo durante la sequia, el estancamiento de los ríos, produce charcas cubiertas de vegetación que son excelentes criaderos para estas especies (Moreno 2000, Moreno et al. 2000). No obstante, si bien estas observaciones son un indicio importante de la dinámica estacional de los mosquitos, la relación de la abundancia de los anofelinos con las variables climáticas debe ser estudiada más cuidadosamente.

Aún persisten muchos aspectos desconocidos sobre la ecología de estas importantes especies, debido a las dificultades para obtener muestras suficientemente grandes de especies como *An. darlingi*, lo que ha limitado las oportunidades de estudio (Charlwood 1996). Por tal motivo, se requiere realizar estudios sobre variaciones geográficas del comportamiento, ecología de las larvas y competencia vectorial entre otros temas de importancia, pero sobre todo se deben priorizar los estudios sobre ecología de vectores en el ámbito local.

Uno de los aspectos explorados en este estudio, es la asociación entre la distribución y abundancia de los anofelinos y las características ambientales de los criaderos mediante el uso de técnicas multivariadas, lo cual ha sido bien documentado, especialmente en lo referente a la vegetación acuática Rejmánková et al. (1999). En este trabajo se presentan algunos resultados con respecto a la distribución espacial de los anofelinos en el micro hábitat, su distribución estacional y su interacción con el clima en el municipio Sifones del estado Bolívar.

2. Materiales y métodos

2.1 Muestreo de criaderos de anofelinos

En el lapso comprendido entre septiembre 2002 y diciembre 2003 se realizó un estudio longitudinal de fluctuación de las poblaciones de larvas de anofelinos. Para obtener la densidad relativa de larvas por especie, se seleccionaron un número determinado trece criaderos de seis tipos diferentes, ubicados a lo largo del eje formado por la carretera troncal 10 que cruza el municipio de norte a sur, representativos de todos los tipos existentes en la zona, según la identificación previa realizada por Moreno et al. (2000) (Figura 1.1). En cada uno de los criaderos seleccionados se hizo un muestreo cada mes durante 16 meses, tomándose 30 cucharonazos con un cucharón de cono truncado de 1,5 litros de capacidad.

Se tomaron registro *in situ* en cada muestreo las variables ambientales más importantes tales como el grado de exposición solar del criadero y dinámica hídrica. De acuerdo a la exposición solar se categorizaron en criaderos totalmente sombreados, parcialmente sombreados o totalmente soleados. En cuanto a la dinámica hídrica del criadero, estos se clasificaron de acuerdo a su hidroperiodo en permanentes, si permanecían con agua durante todo el año, estacionales si solo conservan agua durante la temporada de lluvias, y temporales si solo tiene agua durante pocos días (Grillet et al. 2002).

Asimismo, de acuerdo al flujo del agua se clasificaron en criaderos estancados, de corriente lenta y corriente rápida; el color aparente del agua fue registrado en tres categorías cualitativas apreciadas visualmente: agua color

marrón, que es la que contiene mucho material sólido en suspensión; agua color ámbar, rica en materia orgánica y agua cristalina. También se midió la profundidad del criadero y algunas variables físico-químicas tales como pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y materia total de sólidos disueltos (TSD), utilizándose para el registro de las variables físico-químicas un equipo portátil M-90 Checkmate™ de Corning Inc.

Por último, la variable vegetación fue cuidadosamente registrada, comenzando con la presencia o no de vegetación en el criadero; en caso de haber vegetación se hizo una estimación visual del porcentaje de cobertura del criadero de las especies de vegetación acuática dominante y se identificaron a nivel de familias, géneros o especies en algunos casos.

2.2 Identificación de especies de anofelinos

Debido a la presencia en los criaderos de más de una especie, el contenido de cada cucharón fue observado individualmente, lo cual permitió la identificación previa de los especímenes *in vivo*, mediante la observación de caracteres taxonómicos conspicuos en larvas de IV estadio, que caracterizan a cada una de estas especies y permiten distinguirlas entre sí con facilidad mediante el uso de claves taxonómicas (Faran y Linthicum 1981, Navarro 1996). Caracteres como la forma del aparato espiracular en *An. triannulatus*; forma del aparato espiracular, setas 2,3-C y 1-P en *An. marajoara*, aparato espiracular e índice clipeal en *An. braziliensis* (Chagas) y la presencia de setas 13-S largas en *An. darlingi*, constituyen caracteres inequívocos, fácilmente visibles en larvas vivas desde los primeros instares y que permiten su correcta

identificación. Asimismo, la combinación de la forma de las setas 2,3-C con la forma del aparato espiracular y la posición de la seta 1-X permiten separar *An. oswaldoi* de las especies anteriores, de la misma forma que la observación de la seta 4-C, permite identificar *An. nuneztovari* Gabaldon. De esta forma, basándose en el conocimiento previo que se tiene sobre la fauna anofelina en los criaderos incluidos en estudio es posible identificar las principales especies del subgénero *Nyssorhynchus* Blanchard presentes del área de estudio, tal como ha sido descrito por Moreno et al. (2000). Igualmente, es posible por medio de esta técnica separa las larvas pertenecientes a los otros subgéneros de *Anopheles* Meigen diferentes a *Nyssorhynchus* Blanchard. En los casos dudosos, la preservación de la larva viva, permite su desarrollo para la aplicación de técnicas de colección asociada para la confirmación de la identidad de la especie, según la metodología descrita por Belkin et al. (1965).

2.3 Caracterización de la precipitación en el municipio Sifontes en el lapso de estudio

Los datos climatológicos suministrados por las estaciones del MARNR (1993-2003) ubicadas en TUM y Anacoco en ELD, reportan lluvias durante todo el año en el municipio Sifontes, dentro de un régimen bimodal que presenta una temporada lluviosa mayor entre mayo y septiembre, con el pico en junio, y una segunda temporada menor en noviembre y diciembre (Figura 3.1). En el decenio 1993-2003 la estación Tumeremo registro un acumulado anual promedio de 1.276 mm de lluvia y la estación de Anacoco 1.472 mm. La temperatura media mensual para el mismo periodo fluctuó entre 22 y 26 °C.

Según el criterio de Guevara (2003), que define como meses lluviosos a aquellos con precipitaciones superiores a 60 mm, el municipio no presenta una temporada seca propiamente dicha, porque el promedio histórico siempre se mantiene por encima de este valor, sin embargo se puede considerar como temporada seca o menos lluviosa el lapso de enero a abril, y una segunda sequía corta en el mes de octubre (Figura 3.1). De acuerdo al criterio citado (Guevara 2003) en el cual los meses transicionales tienen valores diferentes a 60 mm, la transición sequía-lluvia es prácticamente inexistente debido a que el mes de mayo tiene valores muy elevados de precipitación, mientras que la transición lluvia-sequía es más lenta y ocurre en los meses de agosto y septiembre. En el periodo septiembre 2002-diciembre 2003 las lluvias irrumpen abruptamente sin transición en mayo, estando la temporada lluviosa y los meses de transición sequía-lluvia dentro del promedio histórico, excepto mayo que está por encima del promedio, mientras que los meses secos estuvieron por debajo de este promedio con valores inferiores a 60 mm, por lo cual se puede considerar que en este lapso si hubo una verdadera temporada seca, siendo el mes de octubre el más seco de todo el periodo (Figura 3.1).

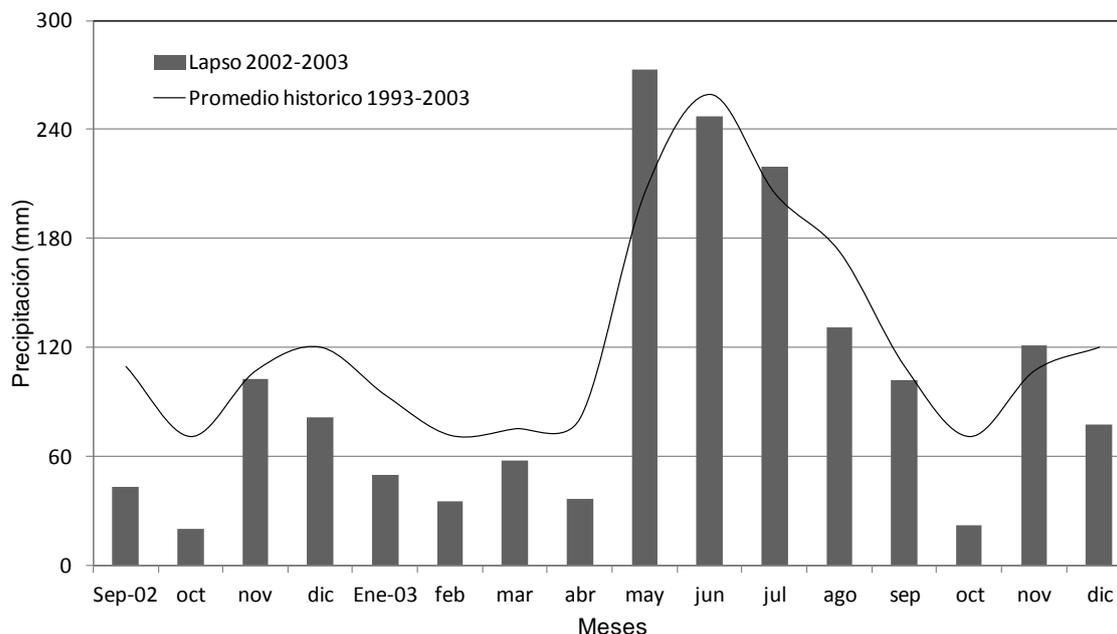


Figura 3.1. Caracterización histórica de la precipitación y lluvia caída en el lapso septiembre 2002-diciembre 2003 en el municipio Sifones del estado Bolívar

2.4 Estudio de las fluctuaciones poblacionales y su relación con variables climáticas

Con el objeto de describir la relación entre la abundancia de larvas de anofelino con la lluvia y el nivel del río, se realizó un análisis de correlación no paramétrico de Spearman para lo cual los datos fueron organizados por mes ($n=16$). Para las variables climáticas, se obtuvieron los registros diarios de lluvia en milímetros (mm) y el nivel del río (m) correspondientes al periodo de estudio comprendido entre septiembre de 2002 y diciembre de 2003, de las estaciones climatológicas de Tumeremo ($7^{\circ}14'35 - 61^{\circ}32'21$) y Anacoco ($6^{\circ}42'55 - 61^{\circ}05'39$) pertenecientes a la Fuerza Aérea Venezolana y al Ministerio del

Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR 2002-2003) (Actualmente Ministerio del Poder Popular para el Ambiente) respectivamente. A partir de estos datos se construyeron series de los acumulados mensuales de lluvia, promediando ambas estaciones para el periodo señalado, y promedios mensuales del nivel del río, estos últimos provenientes solo de la estación Anacoco. En el caso de datos faltantes estos fueron estimados por el método del promedio simple (Guevara 1987). Se hicieron correlaciones simples entre cada variable climática y el número de larvas colectados por mes por tipo de criadero según su dinámica hídrica, estancado y con corriente, para cada una de las especies y para el total colectado. Para este análisis se utilizó el programa SPSS 15.0 para Window (SPSS Inc, 1989-2006).

2.5 Estudio de la distribución espacial de las especies de anofelinos en el hábitat y micro hábitat

Con el objeto de describir la distribución de las larvas de anofelinos en el micro hábitat, y establecer relaciones de las especies con variables bióticas y abióticas más importantes en el criadero, utilizándose la técnica de muestreo descrita en el párrafo anterior, en cada cucharonazo se tomó registro de los géneros de plantas acuáticas presentes en el sitio donde se realizó la inmersión del cucharon, así como la presencia de detritos y la exposición solar en forma nominal, es decir luz (L) o sombra (S). Los datos fueron organizados por cucharonazo (unidad de muestreo) y almacenados en una base del programa Excel®, para posteriormente ser analizados por medio de la técnica multivariada de Análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO, por sus

siglas en inglés), realizado con el programa MVSP versión 3.13 (Copyright© 1985-2007 Kovach Computing Services)

Una aplicación común de los métodos multivariados es la búsqueda de patrones en un set de muestras y su relación con un grupo de variables ambientales medidas. El set de datos de especies comprende datos cuantitativos de abundancia de las 11 especies de anofelinos colectados durante el estudio, entre las cuales se incluyeron especies de *Anopheles* no identificadas pertenecientes a los subgéneros *Anopheles* y *Stethomyia*, y el género *Chagasia*. El set de variables ambientales estuvo constituido por 35 variables, de las cuales 17 describen las características físicas del criadero y su dinámica hídrica e hidroperiodo, cinco la físico-química del agua y 13 son variables de vegetación hidrófila y detrito. Las características físicas del criadero y la vegetación están constituidos por variables dicotómicas de presencia y ausencia, por lo que fueron codificados con uno y cero respectivamente; las variables físicos químicas están constituidas por mediciones cuantitativas expresadas en las unidades naturales para cada variable.

Para el análisis multivariado los datos fueron reorganizados de dos maneras: primero una matriz en la cual la unidad de muestreo fue el cucharonazo positivo (microhabitat), conformada por 1.789 casos, estando las variables de especie representadas por el número de larvas de cada especie colectadas en cada cucharonazo y las variables ambientales constituidas por los géneros de vegetación y exposición a la luz solar registrados *in situ* en cada

cucharonazo; y segundo, una matriz en la cual la unidad de muestreo fue el criadero positivo (hábitat), conformada por 166 casos, estando las variables de especie representadas por el promedio de larvas colectadas en 30 cucharonazos (replicas), y las variables ambientales representadas por las características abióticas del hábitat, tales como tipo de criadero, dinámica hídrica e hidropereodo y valores físico-químicos del agua. Se realizó un análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO) (ter Braak y Smilauer, 1998) con las variables seleccionadas previamente para extraer la máxima variación explicada por las variables ambientales y determinar la ubicación ecológica óptima que favorece la ocurrencia y abundancia de las especies.

3. Resultados

3.1 Descripción de los criaderos

El área de estudio se caracteriza por presentar una gran cantidad y variedad de criaderos de *Anopheles*. Debido a la diversidad de criaderos, éstos fueron agrupados en cinco tipos principales de acuerdo a características físicas y ecológicas que determinan la presencia y abundancia de las especies de anofelinos.

Desde el punto de vista de las especies de larvas que se encuentran en cada uno de ellos, las características principales que definen los criaderos son la exposición a la luz solar y la dinámica hídrica, de donde se derivan otras características biológicas y físicas preponderantes tales como la vegetación acuática presente en el criadero y calidad del agua, cuya variable de expresión principal es el color aparente. De acuerdo a ello se pueden describir cinco categorías de criaderos principales, dentro de las cuales se pueden agrupar diversos cuerpos de agua: 1) criaderos a pleno sol en ambiente carentes de vegetación arbórea, de agua ámbar estancada y con abundante vegetación herbácea tales como lagunas y herbazales, - 2) criaderos parcialmente a la sombra, generalmente ubicados cerca del bosque en áreas deforestadas, de agua estancada ámbar o marrón, con vegetación flotante y enraizada como las charcas de mina, - 3) Criaderos totalmente sombreados dentro del bosque, sin vegetación acuática y abundante detrito, aguas ámbar estancadas, tales como cubetas de decantación y pantanos, - 4) criaderos totalmente sombreados, sin vegetación acuática, aguas ámbar o cristalinas con corriente leve a moderada,

tales como caños, quebradas y líneas de drenaje dentro del bosque, y 5) criaderos formados por acumulaciones de vegetación flotante no enraizada el centro o a la orilla de los grandes ríos, en aguas profundas y estancadas, color ámbar o marrón según la época del año.

Lagunas. Las dos lagunas muestreadas son de origen natural y representativas de las muchas existentes en la zona. Se originaron por acumulación de agua de lluvia en depresiones naturales del terreno, producidas por ondulaciones en el micro relieve y derivadas de escurrimiento superficial y líneas de drenajes. La principal característica de estas lagunas es que poseen aguas estancadas y están completamente soleadas, y como la mayoría de ellas, están ubicadas en ambientes de sabana bordeadas con vegetación arbustiva y bosques de galería, en paisajes dominados por lomeríos bajos y de pendiente suave (Figura 3.2). El sustrato varía entre arenoso y franco arenoso, el agua por lo general varía entre ámbar y cristalina, dependiendo de la época del año. Los valores físico-químicos promedio medidos en las lagunas fueron 31,3 °C para la temperatura del agua, 39,5 μ S/cm en la conductividad eléctrica, 6,5 el pH y 20.2 mg/L el total de sólidos disueltos (TSD) en el agua. Al estar expuestas a la luz solar, estas lagunas son ricas en vegetación hidrófila enraizada y flotante, destacando entre las especies dominantes las gramíneas y los géneros de emergentes *Eleocharis* y *Ludwigia*, Asimismo abundan las flotantes *Mayaca* y *Utricularia* así como Alga Verde Filamentosa (AVF) las cuales forman excelentes nichos que les proporcionan refugio y alimentación a las larvas de anofelinos.

Charcas. Son muy frecuentes en la zona las charcas producidas por la socavación del terreno hecha por el hombre para la extracción de oro de aluvión, de las cuales se muestrearon cuatro. Las charcas muestreadas son cuerpos de agua cuya estabilidad hídrica, ha permitido la colonización por vegetación acuática constituyéndose en el principal tipo de criadero de anofelinos en el municipio. Son similares a las lagunas en cuanto a dinámica hídrica, pues son aguas estancadas, cuyo hidroperiodo es estacional o permanente, y que están alimentadas por pequeñas quebradas, líneas de drenajes y escurrimientos superficiales. Se diferencian de las lagunas en su origen antrópico y en que, al estar en áreas boscosas, pueden estar rodeadas de vegetación arbórea y sombreadas total o parcialmente (Figura 3.3). Estas cualidades determinan a su vez las características físico-químicas y de la vegetación acuática que puede estar presente o no dependiendo del área y de la época del año. El agua es de color variable de ámbar a marrón oscuro dependiendo de la época del año. Los valores físico-químicos promedio medido durante el estudio fueron 29,3 °C para la temperatura del agua, la conductividad eléctrica 46,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH 5,9 y 27.1 mg/L de TSD en el agua. Cuando está presente, la vegetación acuática dominante está representada por los géneros *Nymphaea* y *Mayaca*, pudiendo haber gramíneas en áreas soleadas. Estas charcas constituyen criaderos de anofelinos de alta diversidad y abundancia.

Herbazal. Este tipo de criadero está formado por pastizales inundados en terrenos anegadizos con sustrato de turbera, con aporte de abundante materia

orgánica en descomposición originados por acumulación de agua de lluvia en suelos limosos poco permeables (Figura 3.4). Los tres herbazales muestreados cubren áreas superiores a las cinco hectáreas con una lámina de agua poco profunda, alrededor de 50 cm. en los lugares de mayor profundidad. Su característica principal es que están cubiertos en más de 90% por vegetación herbácea homogénea, casi siempre de una sola especie, siendo *Eleocharis* el género dominante, entremezclado con gramíneas en proporción minoritaria. Hacia las orillas, y donde la densidad de herbáceas es menor, otros géneros de hidrófilas emergentes y sumergidas tales como *Utricularia*, *Mayaca*, *Ludwigia*, AVF y ocasionalmente alguna nymphacea pueden estar presentes. Estos criaderos se encuentran en paisajes de sabana o penillanuras suavemente onduladas, en áreas completamente descubiertas y expuestas a la luz del sol. La dinámica hídrica es de agua estancada y permanente, aunque durante sequías extremas pueden secarse completamente. La mayor parte del año el agua es de color ámbar, registrándose en los criaderos medidos una temperatura promedio de 29,5 °C, una conductividad 57,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un pH de 5,9 y TSD de 31,4 mg/L. Estos son criaderos de anofelinos de baja diversidad de especies y abundancia intermedia.

Río. El criadero tipo río en esta zona, está representado en los tres grandes ríos que atraviesan la región y que conforman la cuenca hidrográfica del Cuyuní: Cuyuní, Yuruán y Yurará. De estos se muestreó un segmento del río Yuruarí, a pocos kilómetros de la desembocadura en el río Yuruán. Durante la época de lluvias, este criadero de anofelinos está constituido por nichos que se

forman en la superficie del río por acumulación de vegetación flotante y detrito, en las orillas o en centro del caudal en zonas profundas, en represas formadas por troncos caídos que permite el anclaje de la vegetación y otros materiales (Figura 3.5A). La vegetación está representada casi exclusivamente por las hidrófilas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* (Figura 3.5B). En estos nichos se acumula detrito y material sólido en suspensión que proporciona alimento y refugio a las larvas de mosquito. En cuanto a la dinámica hídrica son de carácter estacional, pues dependen de las fluctuaciones del nivel del río. Durante la época de lluvias el agua fluye con una corriente de moderada a rápida, la temperatura promedio del agua fue 29,5 °C, la conductividad 81,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH 6.0 y el TSD 40,4 mg/L. Durante la época de sequía, de febrero a abril, el río disminuye considerablemente su caudal y el flujo de agua se detiene, formándose charcas de agua estancada cubiertas de densos cúmulos de *E. Crassipes*, *P. stratiotes* y AVF (Figura 3.5C). Estos pozos, durante la época de sequía, y los cúmulos de vegetación flotante durante las lluvias, constituyen excelentes criaderos de mosquitos, por lo que el río, en ambas estaciones, resultó positivo a larvas de anofelinos.

Caño o quebrada. Los dos criaderos tipo caño muestreados están constituidos por corrientes de agua de origen natural con ancho y profundidad variable, cuyo caudal depende de la época del año y de las precipitaciones. Son muy angostos, con alrededor de tres metros o menos, y tienen corriente de lenta a moderada. Transcurren por áreas boscosas poco intervenidas de pendiente leve y están profusamente sombreados, se caracterizan por presentar aguas

cristalinas o ámbar sobre un sustrato arenoso o franco-limoso poco profundo (Figura 3.6). Por lo general carecen de vegetación hidrófila, pero en áreas donde el dosel del bosque está interrumpido puede haber pequeños cúmulos de *Mayaca* sp., *Utricularia* sp. y AVF. La temperatura media del agua fue 26,5 °C, el TSD 8,1mg/l, la conductividad 19,9 μ S/cm y el pH 4,9. En las orillas y entre las raíces de plantas leñosas se forman nichos por acumulación de detrito donde se encuentran las larvas de mosquitos, siendo este tipo de criadero de baja abundancia y alta diversidad de especies.

Pantano. Bajo el nombre folklórico de pantano se agrupan por lo general muchos de cuerpos de agua con diferentes dinámica hídrica, que pueden variar en cuanto al tamaño y características dependiendo del origen y la geomorfología del área y que constituyen criaderos de anofelinos importantes. A lo largo de los principales corredores ribereños de los ríos Cuyuní, Yuruán y Yuruarí hay extensas superficies sujetas a inundación estacional, tales como napas de desborde, cubetas de decantación y lagunas laterales con láminas de agua de profundidad y cobertura vegetal variable. El pantano muestreado está lejos de los corredores fluviales y está formado por una extensa área inundable originada por el represamiento de agua de lluvia y escurrimientos superficiales en suelos poco permeables, de sustrato limoso o limo arcilloso poco profundo, con aporte de abundante materia orgánica en descomposición. Está cubierto de vegetación arbustiva en una formación de arbustal ralo, lo que lo hace parcialmente sombreado (Figura 3.7). La vegetación hidrófila es escasa, pero donde la luz lo permite hay pequeños cúmulos de *Eleocharis*, *Mayaca* y

Utricularia. Su dinámica hídrica es de aguas estancadas, permanente y de color ámbar, con abundante detrito en la superficie, lo cual favorece la presencia de anofelinos. En promedio, en este tipo de criadero se registró una temperatura de 27,7 °C, conductividad de 14,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TSD 6,9 mg/l y 5,2 de pH. El pantano fue el criadero de más baja abundancia de anofelinos.



Figura 3.2. Criadero natural tipo laguna completamente expuesto al sol



Figura 3.3. Charca típica de origen antropico en medio del bosque y parcialmente sombreada



Figura 3.4. Criadero tipo herbazal cubierto completamente de vegetación homogénea tipo *Eleocharis* y totalmente expuesto al sol

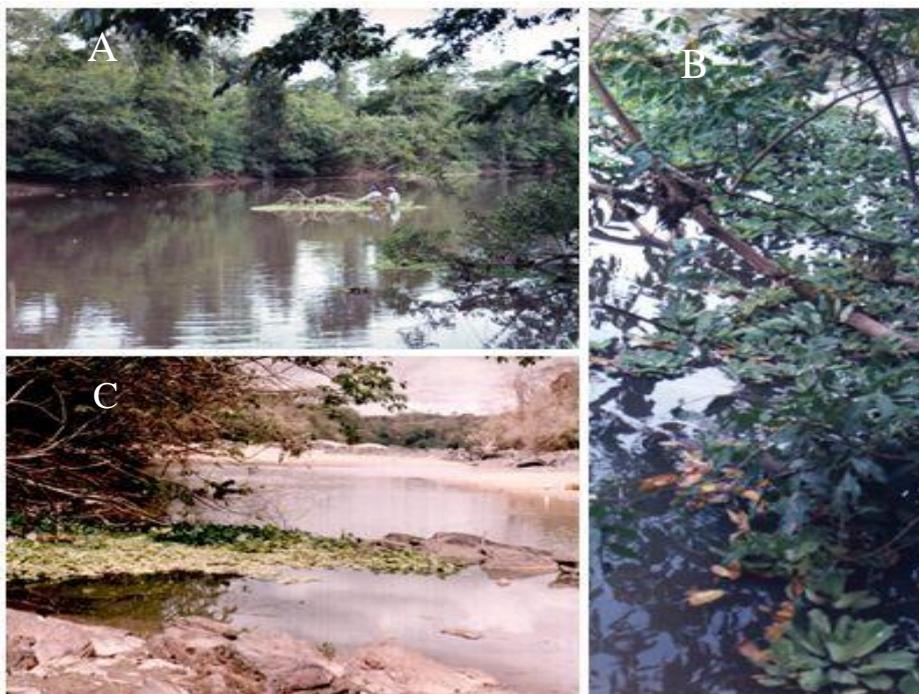


Figura 3.5 A. Criadero tipo río formado por acumulación de vegetación flotante en el centro y orilla del río Yuruarí durante la época de lluvias, B. Detalle de cúmulo de *Pistia stratiotes* en la orilla, C. Charcas formadas el mismo lugar de la foto A durante la época de sequía



Figura 3.6. Criadero tipo caño o quebrada de corriente lenta y agua ámbar en área boscosa completamente sombreada



Figura 3.7. Pantano arbustivo en área inundable no ribereña y parcialmente a la sombra

3.2 Abundancia de anofelinos por tipo de criadero

En el lapso comprendido entre septiembre 2002 y diciembre 2003, se muestrearon longitudinalmente cada mes dos (02) lagunas, tres (03) herbazales, cuatro (04) charcas, dos (02) caños o quebradas, un (01) río y un (01) pantano, los cuales suman trece (13) criaderos y 178 muestras de 30 cucharonazos cada uno, para un total de 5.340 cucharonazos. Las muestras estuvieron constituidas de la siguiente manera: lagunas 1.080 cucharonazos, herbazal 690, charcas 1.410, caños 1.290, río 480, y pantano 390, colectándose 8.073 larvas de anofelinos de todos los estadios en estos criaderos (Tabla 3.1).

En la tabla 3.2 se resume la cantidad de larvas colectadas por especie de anofelino y tipo de criadero durante todo el estudio, distribuidas en 11 especies, 10 de ellas del género *Anopheles* y una al género *Chagasia* Cruz. De las especies de *Anopheles* identificadas siete pertenecen al subgénero *Nyssorhynchus*, siendo la más abundante *An. triannulatus* (51,9%), seguida de *An. marajoara* (22,1%), *An. braziliensis* (7,1%), *An. darlingi* (4,5%), *An. nuneztovari* (1,6%), *An. oswaldoi* (1,2%) y *An. strodei* Root (0,3%), en ese orden. *Anopheles triannulatus*, además de ser la especie más abundante, también fue la más ubicua, estando presente de manera importante en todos los tipos de criaderos, las demás especies tienden a mostrar preferencia por criaderos de agua estancada o con corriente de manera diferencial. Así, mientras que *An. braziliensis*, *An. marajoara*, *An. nuneztovari* y *An. strodei* muestran una clara preferencia por los criaderos de agua estancada, *An.*

darlingi fue colectado indistintamente en ambos tipos de criaderos (Tabla 3.2). En cuanto a otros subgéneros también se colectaron larvas de *An.* (*Lophopodomyia*) *squamifemur* Antunes (0,2%) y especies no identificadas de los subgéneros *Anopheles* (0,2%) y *Stethomyia* Theobald (0,5%), así como una cantidad importante de larvas de una especie aun no identificada del genero *Chagasia* (1,8%), ocupando esta especie el quinto lugar en abundancia en toda muestra. Al contrario del primer grupo del subgénero *Nyssorhynchus*, estas últimas especies de otros subgéneros y *Chagasia*, tienden a ser particularmente abundantes en los criadero con corriente tipo caño y río (Tabla 3.2).

En las lagunas se colectaron tres especies de anofelinos de once colectadas en total, siendo este tipo de criadero el de menor diversidad de especies, junto con el herbazal (Tabla 3.1). No obstante, en estos criaderos se colectaron 2.428 (30,1%) larvas de todas las especies, siendo el segundo en abundancia después de las charcas. La especie más abundante en las lagunas fue *An. triannulatus* con 1.311 (54.%) larvas colectadas, seguida en orden de magnitud por *An. marajoara* con 749 (30,8%) y *An. braziliensis* 227 (9.3%), una proporción de 5,8% del material colectado no pudo ser identificado por diferentes razones (Tabla 3.2). En las charcas, el hecho de poseer áreas sombreadas, posibilita la presencia de especies del subgénero *Nyssorhynchus* y otras especies raras, lo cual las convierte en los criaderos con mayor diversidad junto con los caños y también en el de mayor abundancia. En las charcas se colectaron 3.376 (41,8%) larvas distribuidas en ocho especies de

anofelino, siendo la más abundante *An. triannulatus* con 1.985 (58,8%) larvas, seguida de *An. marajoara* (17,7%), *An. darlingi* (7,0%), *An. nuneztovari* s.l. (3,7%), *An. oswaldoi* (1,5%) y *An. strodei* (0,7%), de las pertenecientes al subgénero *Nyssorhynchus*. También se colectaron en las charcas cuatro larvas del subgénero *Stethomyia* y dos del género *Chagasia* (Tabla 3.2). Por el contrario, los herbazales al igual que las lagunas, son criaderos de anofelinos de baja diversidad de especies y abundancia intermedia. En total se colectaron en los herbazales 953 larvas pertenecientes a tres especies de anofelino, siendo la más abundante *An. marajoara* con 432 (45,3%) larvas colectadas, seguida de *An. braziliensis* 348 (36,5%) y *An. triannulatus* 117 (12,3%) (Tabla 3.2).

En el río, los pozos formados durante la época seca y los cúmulos de vegetación flotante durante la época de lluvias, constituyen excelentes criaderos de mosquitos, por lo que este criadero, en ambas estaciones resultó positivo a larvas de *An. triannulatus*, siendo esta la especie más abundante. Estos constituyen además el principal criadero de *An. darlingi* en la región, así como también eventualmente se pueden colectar larvas de *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, pero en muy baja densidad. Los caños ocuparon el segundo lugar en diversidad de especies detrás de las charcas, en ellos se colectaron en total 371 (24,2%) larvas de anofelinos pertenecientes a siete especies (Tabla 1). En los caños las especies del subgénero *Nyssorhynchus* son escasas, solo se colectaron 59 (15,9%) larvas de *An. triannulatus*, 44 (11,9%) de *An. oswaldoi* y 23 (6,2%) de *An. darlingi*. La especie más abundante en los caños fue

Chagasia sp. con 140 (37,7%) larvas colectadas, este género frecuentemente es colectado en este tipo de criadero junto con larvas de *An. squamifemur* (4,0%) y los subgéneros *Stethomyia* (9,7%) y *Anopheles* (2,7%) (Tabla 3.2). Por último, en los pantanos se colectaron cinco especies de anofelino, y fueron los de más baja la abundancia con solo 209 (2,6%) larvas colectadas. *Anopheles triannulatus* con 148 (70,8%) larvas fue la especie dominante en este tipo de criadero, pero también se colectaron tres larvas de *An. oswaldoi*, dos de *An. marajoara* y una de *An. darlingi*, así como nueve del subgénero *Anopheles* (Tabla 3.2).

Tabla 3.1. Número de especies de anofelino presentes y número total de larvas colectadas por tipo de criadero

Criadero	Cucharonazos (%)		Nº de especies	Nº de larvas (%)	
Charca	1.410	(26,4)	8	3.376	(41,8)
Laguna	1.080	(20,2)	3	2.428	(30,1)
Herbazal	690	(12,9)	3	953	(11,8)
Pantano	390	(7,3)	5	209	(2,6)
Caño	1.290	(24,2)	7	371	(4,6)
Río	480	(9,0)	4	736	(9,1)
Total	5.340	(100,0)	11	8.073	(100,0)

Tabla 3.2. Número total de larvas identificadas por tipo de criadero para cada especie de *Anopheles*

Especie	Charca	Laguna	Herbazal	Pantano	Caño	Rio	Total
<i>An. triannulatus</i>	1.985	1.311	117	148	59	572	4.192
<i>An. braziliensis</i>	0	227	348	0	0	0	575
<i>An. marajoara</i>	598	749	432	2	0	1	1.782
<i>An. darlingi</i>	237	0	0	1	23	101	362
<i>An. nuneztovari</i>	126	0	0	0	0	2	128
<i>An. strodei</i>	23	0	0	0	0	0	23
<i>An. oswaldoi s.l.</i>	50	0	0	3	44	0	97
<i>An. squamifemur</i>	0	0	0	0	15	0	15
<i>An. (Anopheles) sp.</i>	0	0	0	9	10	0	19
<i>An. (Stethomyia) sp.</i>	4	0	0	0	36	0	40
<i>Chagasia sp.</i>	2	0	0	0	140	0	142
No identificados	351	141	56	46	44	60	698
Total	3.376	2.428	953	209	371	736	8.073

3.3 Fluctuación poblacional de las larvas de anofelinos

El diseño longitudinal del estudio permitió construir curvas de fluctuación poblacional para las principales especies de anofelinos vectores, o potencialmente vectores, presentes en el área de estudio, así como establecer correlaciones entre la abundancia de mosquitos y la precipitación por un lado y el nivel del río por otro. En esta sección, se presentan resultados del análisis descriptivo de la relación entre la abundancia de larvas por especie y la lluvia y del análisis de correlación simple. El análisis se realizó en dos estratos, un análisis de la abundancia total y otro de la abundancia por tipo de criadero (dinámica hídrica) y especie de anofelino, observándose resultados contrastantes en algunos casos.

En este sentido, cuando se analiza la abundancia total de las larvas de anofelinos de manera global, sin discriminar por especies, se observa que en general son más abundantes durante la época de sequía, con una ligera caída durante el pico de precipitación, tendencia que se mantiene durante el resto del periodo, con una ligera recuperación durante la transición de agosto y septiembre (Figura 3.8). Este patrón no es corroborado por el análisis de correlación, que si bien muestra una relación invertida de bajo coeficiente con la lluvia ($R = -0,34$) y con el nivel del río ($R = -0,12$), no es significativa en ninguno de los casos (Tabla 3.3). La figura 3.8 también muestra la abundancia de las larvas de culicinos que comparten los mismos criaderos, sigue el mismo patrón de los anofelinos, sin embargo, la tendencia general puede albergar

otras tendencias particulares que solo se hacen evidentes al discriminar el análisis por tipo de criadero.

Al analizar la variación en la abundancia de larvas para los criaderos de aguas estancadas y soleados, tales como lagunas charcas y herbazales, se aprecia como se mantiene la tendencia de relación invertida con la precipitación señalada anteriormente para anofelinos y culicinos, lo cual es propio de una dinámica hídrica de aguas estancadas (Figura 3.9). Tampoco en este caso la observación es corroborada por el análisis de correlación para las larvas de anofelinos, siendo los coeficiente demasiado bajos y no significativos para la lluvia ($R = -0,19$) y para el nivel del río ($R = 0,06$) (Tabla 3.3).

En general, en los criaderos de aguas estancadas, si bien la abundancia de larvas disminuye durante el periodo de lluvias, no sufre una caída drástica, permitiendo la presencia de larvas en el criadero durante casi todo el año. No ocurre lo mismo en los criaderos de aguas con corriente, tales como los caños y el río, en los cuales la caída de la abundancia de larvas de mosquitos durante el período de lluvias es dramática, siendo esta caída abrupta justo al comienzo de las precipitaciones durante el mes de mayo, siendo también en este caso igual el efecto de la lluvia tanto en anofelinos como en culicinos, comenzando la recuperación del criadero en diciembre, después del segundo pico de precipitaciones antes del inicio de la temporada seca (Figura 3.10). En este caso, al contrario de lo que ocurre en los criaderos estancados, si se encontró una correlación negativa altamente significativa ($p \leq 0,01$) y con elevados coeficientes con la lluvia ($R = -0,69$) y con el nivel del río ($R = -0,77$), que

corroboran la tendencia mostrada en la figura 3.10 y ponen en evidencia el efecto negativo de la lluvia en estos criaderos (Tabla 3.3).

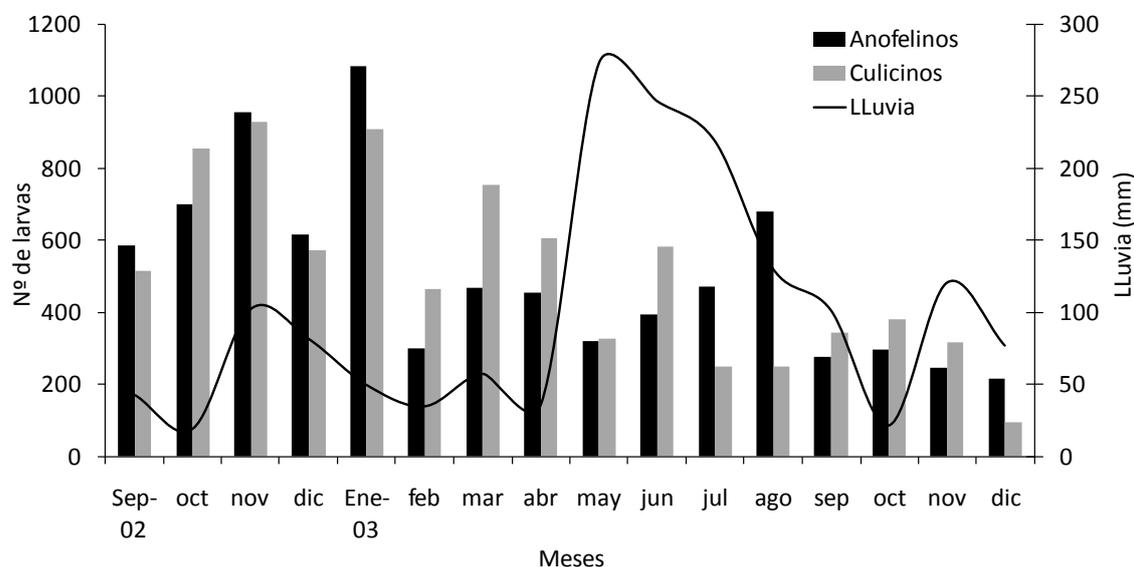


Figura 3.8. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en el municipio Sifontes del estado Bolívar. Septiembre 2002-diciembre 2003

Tabla 3.3. Coeficientes de correlación de Spearman de las larvas de *Anopheles spp.* con variables climáticas para criaderos estancados, con corriente y todos los criaderos

	Estancados		Con corriente		Todos los criaderos	
	Lluvia	Rio	Lluvia	Rio	Lluvia	Rio
<i>An. triannulatus</i>	-0,33	-0,18	-0,48	-0,73**	-0,46	-0,28
<i>An. braziliensis</i>	-0,65**	-0,24			-0,65**	-0,24
<i>An. marajoara</i>	0,22	0,46			0,22	0,45
<i>An. darlingi</i>	0,45	0,44	-0,45	-0,45	-0,04	0,09
<i>An. nuneztovari</i>	0,71**	0,79**			0,68**	0,66**
<i>An. oswaldoi</i>	-0,15	-0,44	-0,50*	-0,63**	-0,22	-0,50*
<i>Chagasia sp.</i>	-	-	-0,39	-0,26	-0,37	-0,24
total	-0,19	0,06	-0,69**	-0,77**	-0,34	-0,12

**Correlación significativa al nivel 0,01. *Correlación significativa al nivel 0,05.

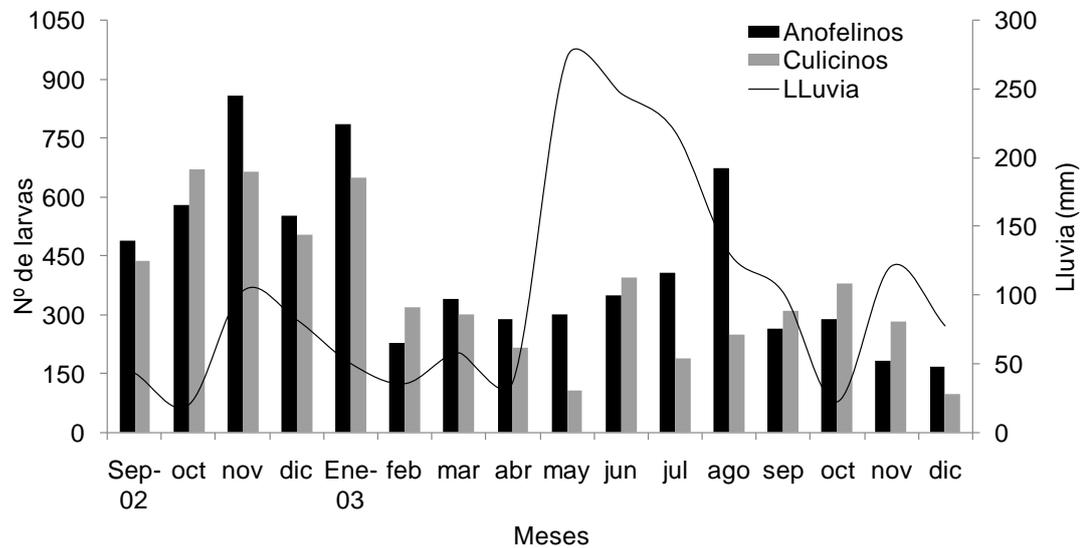


Figura 3.9. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en criaderos de aguas estancadas. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

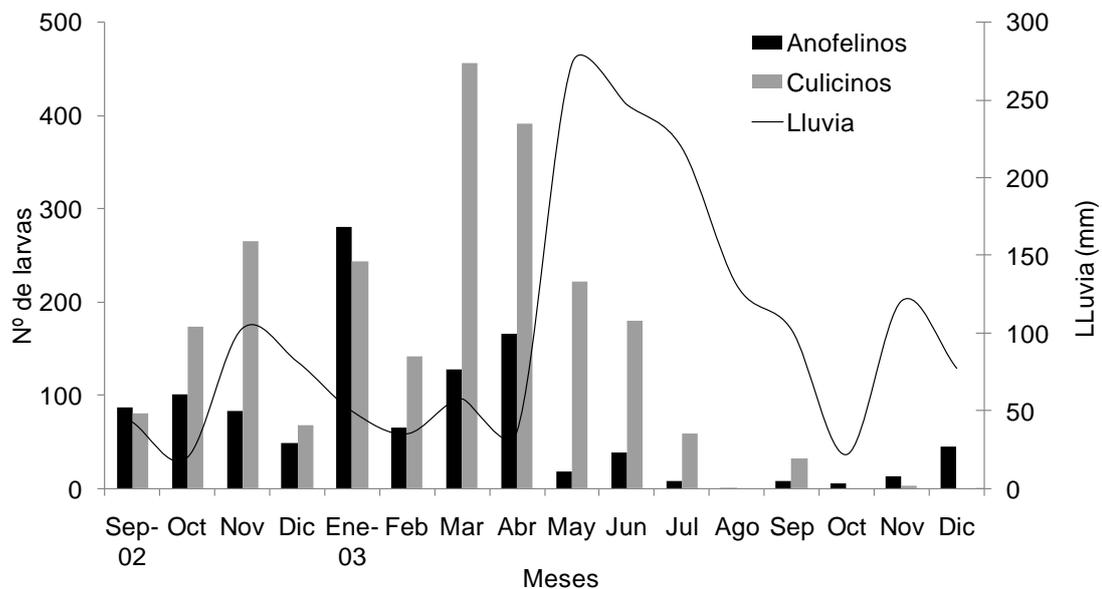


Figura 3.10. Lluvia y abundancia mensual de larvas de anofelinos y culicinos en criaderos de aguas con corriente. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

Otro factor de variación importante en este tipo de análisis lo constituye la especie de anofelino, dada la variabilidad en el hábitat que explota cada una de las especies. En la figura 3.11 se muestra la fluctuación en la abundancia para *An. triannulatus* y *An. marajoara* en criaderos de agua estancada como lagunas, charcas y herbazales, criaderos de características similares en los cuales fueron más abundantes estas dos especies. *Anopheles triannulatus* mantiene la tendencia general de mayor abundancia durante la época de sequía, lo cual se explica por el hecho de que esta especie es la más abundante en el área de estudio y por lo tanto ejerce un gran peso sobre la tendencia general, mientras que *An. marajoara* exhibe un comportamiento ligeramente diferente, siendo esta especie más abundante inmediatamente después del pico de precipitaciones durante el periodo de transición lluvia-sequía, a pesar de que comparte el mismo criadero con *An. triannulatus*. Esto sugiere que debe haber otros factores involucrados en su dinámica poblacional que afecta de manera diferente a cada especie, sin embargo en la figura 3.11 no se evidencia diferencias marcadas entre ambas especies en este tipo de criadero. Esto es confirmado por el análisis de correlación que tampoco muestra correlaciones significativas de ninguna de las dos especies ni con la lluvia ni con el nivel del río, siendo los coeficientes relativamente bajos para *An. triannulatus* ($R = 0,33$ y $R = 0,18$ respectivamente) y para *An. marajoara* ($R = 0,22$ y $R = 0,46$) (Tabla 3.3).

Anopheles braziliensis es una especie típica de criaderos de dinámica hídrica estancada y soleados. Esta especie fue particularmente abundante en

los criaderos tipo herbazal y laguna y durante la época de sequía, llegando a desaparecer por completo durante los meses de mayor intensidad lluviosa, mostrando un comportamiento diferente al de *An. marajoara*, especie con la que comparte este tipo de criadero (Figura 3.12). Estas dos especies muestran un patrón de abundancia casi idéntico durante la época de sequía, pero luego, mientras que *An. braziliensis* desaparece durante los meses más lluviosos (mayo-agosto), *An. marajoara* si bien baja la densidad, se mantiene hasta alcanzar un pico en la abundancia durante el periodo de transición lluvia-sequía en el mes de agosto (Figura 3.12). Esta clara relación invertida con la precipitación es demostrada por el análisis de correlación, resultando un elevado coeficiente negativo altamente significativo ($R = -0,65$) para la relación de *An. braziliensis* con la lluvia, no ocurriendo lo mismo con el nivel del río, cuyo coeficiente fue más bajo y no significativo ($R = -0,24$) (Tabla 3.3).

En forma general los criaderos tipo charca fueron los de mayor abundancia de larvas de anofelinos, siendo las especies más abundantes en ellos *An. triannulatus*, *An. marajoara*, *An. darlingi* y *An. nuneztovari*, en ese orden (Tabla 3.2). Al mismo tiempo las charcas fueron los criaderos donde se colectó la mayor cantidad de larvas de tres de estas especies en forma individual, excepto *An. marajoara* que fue más abundante en las lagunas. Para *An. darlingi*, este fue prácticamente el único criadero de agua estancada donde se le colectó, y al contrario de lo que ocurre con las otras especies en criaderos estancados, su curva de abundancia exhibe un acoplamiento casi perfecto a la curva de precipitación, coincidiendo el pico en la abundancia de la especie con

el pico en la precipitación (Figura 3.13). La otra especie para la cual las charcas constituyen su único criadero es *An. nuneztovari*, exhibiendo un comportamiento bien diferente al de *An. darlingi* y al de casi todas las demás especies de anofelinos, la curva de *An. nuneztovari* muestra que la especie es más abundante durante julio y agosto, inmediatamente después del pico de lluvias durante los meses de transición lluvia-sequía (Figura 3.13).

Al combinar dos factores de variación como son el tipo de criadero y la especie de anofelino, los resultados se tornan más interesantes y explican algunos de los comportamientos observados anteriormente aparentemente contradictorios. Para aquellas especies que se colectan en criaderos con diferente dinámica hídrica, como es el caso de *An. darlingi* y *An. triannulatus*, la discriminación de la abundancia según esta variable y la especie de anofelino tiene un efecto desagregatorio en las curvas mostradas antes en las figuras 3.11 y 3.13. Al examinar el caso de *An. darlingi* se revela como esta especie tiene un comportamiento diferente dependiendo de la dinámica hídrica del criadero, así mientras que en los criaderos estancados incrementa su abundancia durante la época de lluvias y el patrón es directamente proporcional a la curva de precipitación, en los criaderos con corriente muestra un patrón inverso disminuyendo drásticamente durante el periodo de lluvias por efecto de lavado de los cursos de agua (Figura 3.14). Curiosamente, sin bien no son significativos, los coeficientes del análisis de correlación de esta especie con la lluvia tienen el mismo valor para los criaderos estancados ($R = 0,45$) y con corriente ($R = -0,45$) pero con signos contrarios, lo que cuantifica

claramente la relación como se describe arriba, repitiéndose la misma relación invertida para el nivel del río con coeficientes similares para los criaderos estancados ($R= 0,40$) y con corriente ($R= -0,45$) (Tabla 3.3). La misma tendencia se insinúa en la figura 3.15 para *An. triannulatus*, pero no de manera tan evidente, esta especie parece ser más sensible al efecto negativo de la lluvia disminuyendo su densidad durante el pico de precipitación en ambos tipos de criaderos, siendo el efecto más marcado en los criaderos con corriente. Esta tendencia queda claramente demostrada en los resultados del análisis de correlación, cuyos coeficientes para la lluvia y el nivel del río, tanto en los criaderos estancados como en los de corriente fueron todos de signo negativo, siendo altamente significativo solo en el caso del nivel del río en los criaderos con corriente ($R= -0,73$) (Tabla 3.3). La otra especie que se consigue en ambos tipos de criaderos es *An. oswaldoi*, pero en este caso el comportamiento es diferente a las dos anteriores, pues su abundancia se incrementa solo justo antes del periodo de lluvias, disminuyendo dramáticamente durante el pico de lluvias (Figura 3.16). Es importante resaltar que la abundancia de esta especie durante el estudio fue muy baja, lo cual puede causar sesgo en la interpretación de los resultados, no obstante, el análisis de correlación corrobora la relación inversa con la precipitación y el nivel del río en ambos tipos de criaderos, siendo la correlación en los criaderos con corriente significativa para la lluvia ($R= -0,50$) y altamente significativa para el nivel del río ($R= -0,63$) (Tabla 3.3).

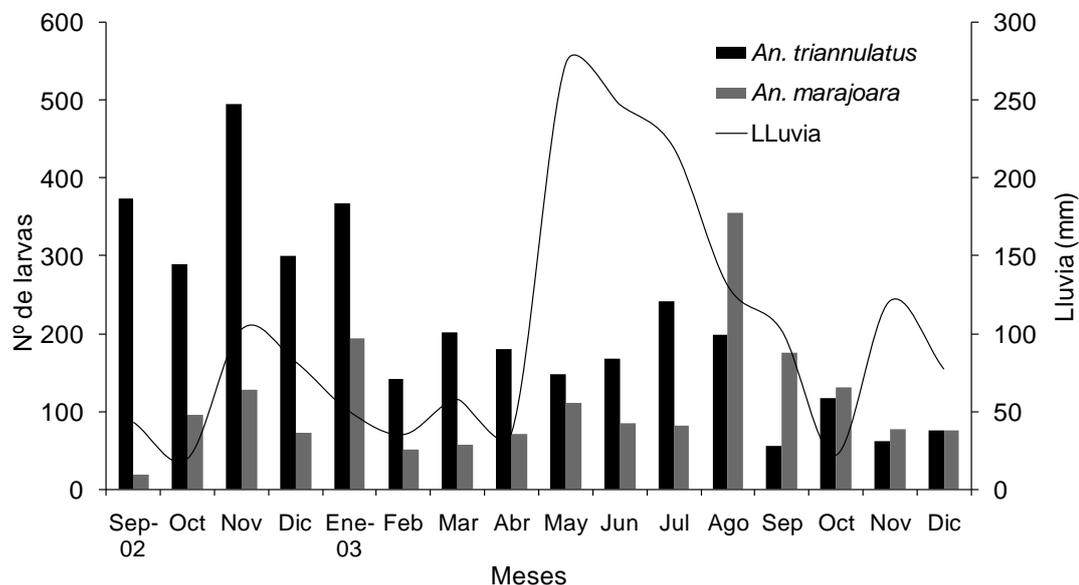


Figura 3.11. Lluvia y abundancia mensual de larvas de *An. triannulatus* y *An. marajoara* en lagunas, charcas y herbazales. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

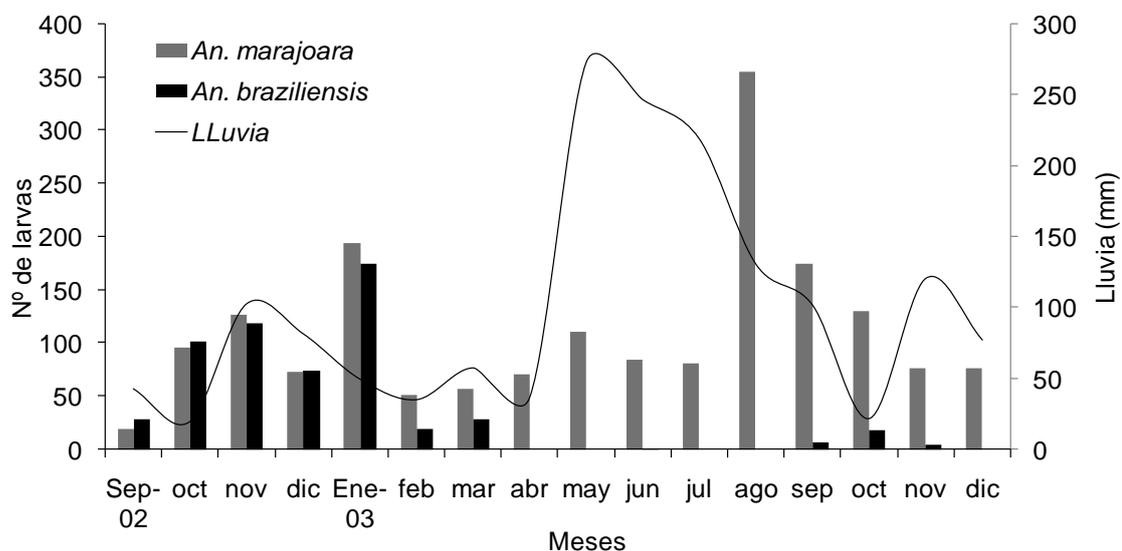


Figura 3.12. Lluvia y abundancia mensual de larvas de *Anopheles marajoara* y *An. braziliensis* en laguna y herbazal. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

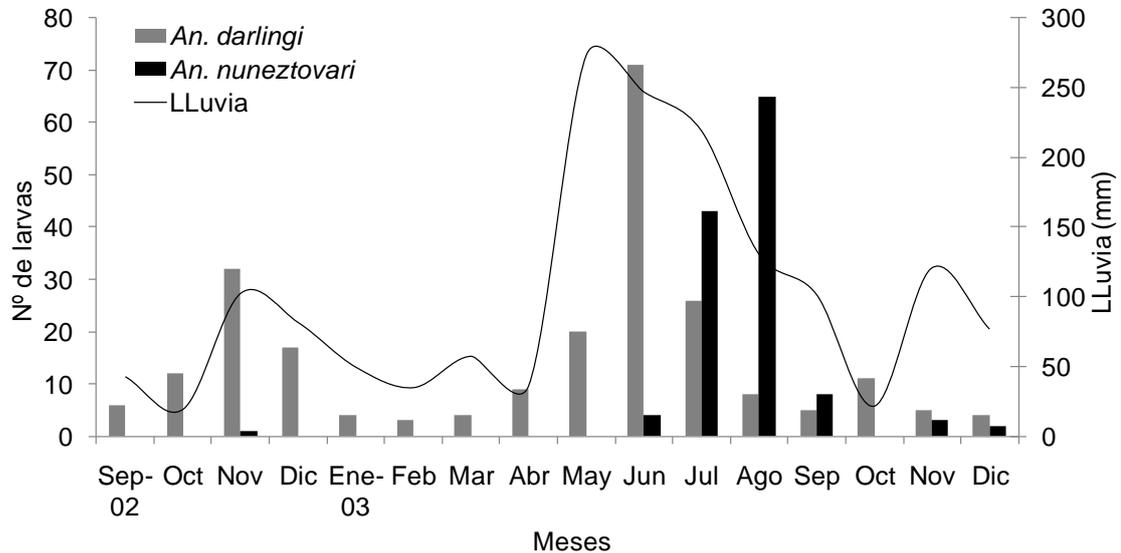


Figura 3.13. Lluvia y abundancia mensual de *Anopheles darlingi* y *An. nuneztovari* en charcas. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

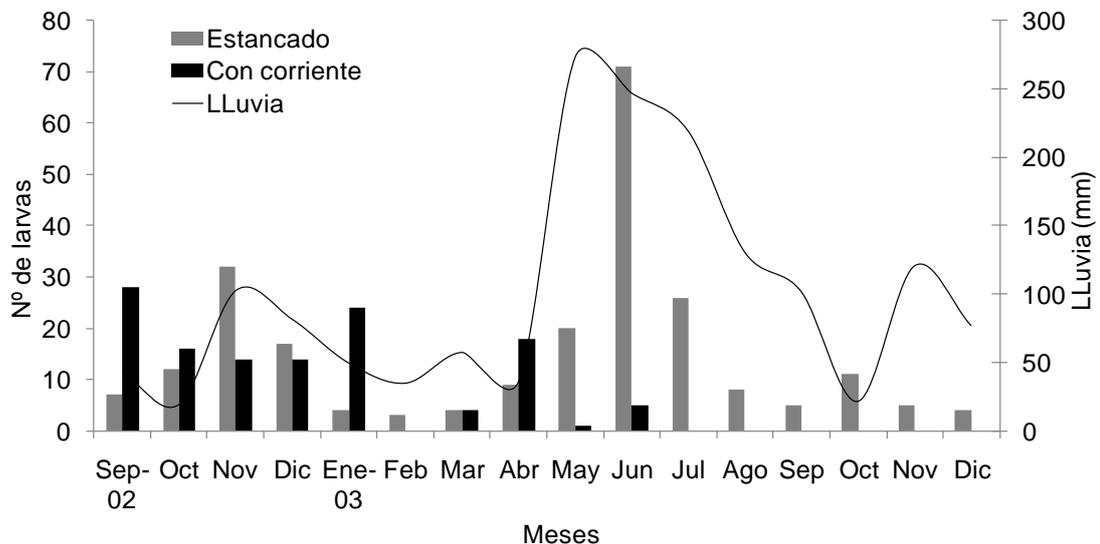


Figura 3.14. Lluvia y abundancia mensual de *Anopheles darlingi* en criaderos estancados y con corriente. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

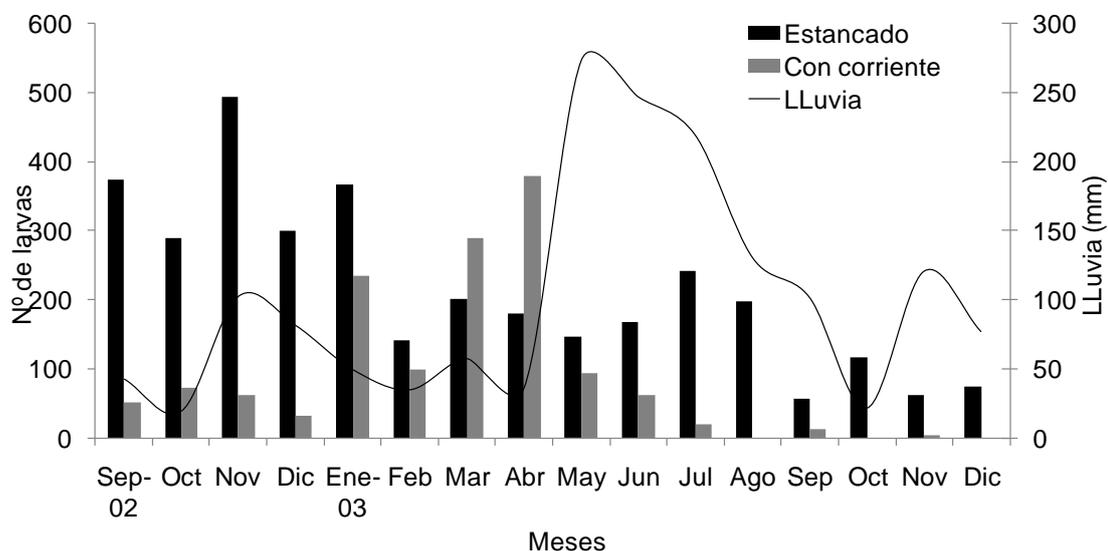


Figura 3.15. Lluvia y abundancia mensual de *Anopheles triannulatus* en criaderos estancados y con corriente. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

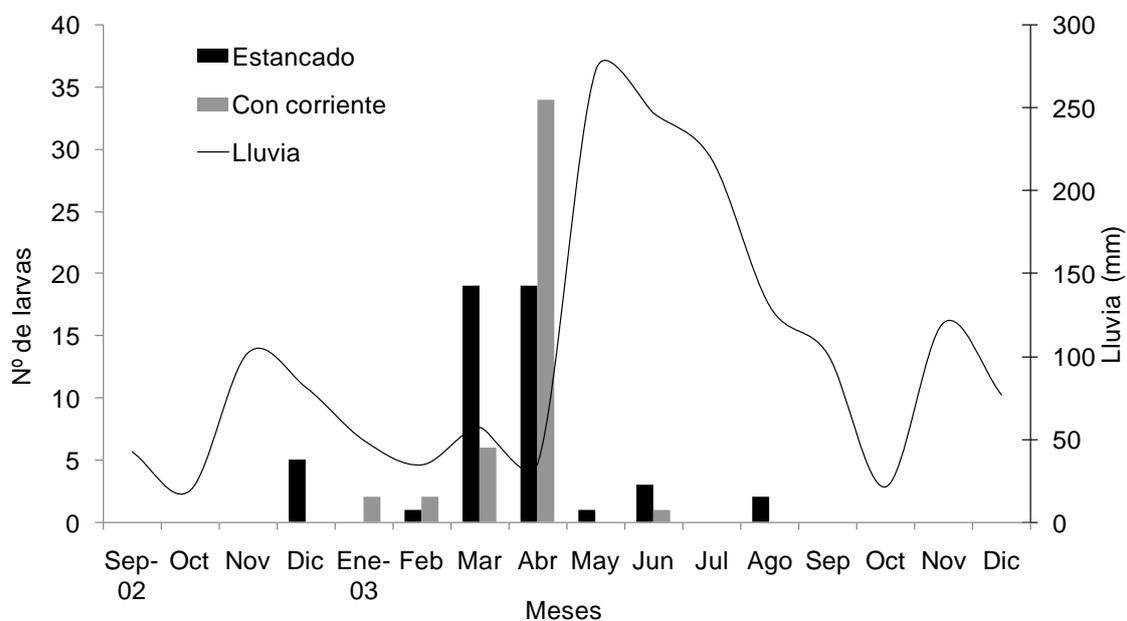


Figura 3.16. Lluvia y Abundancia mensual de *Anopheles oswaldoi* en criaderos estancados y con corriente. Municipio Sifontes del estado Bolívar, septiembre 2002-diciembre 2003

3.4 Distribución espacial de las larvas de anofelinos en el microhábitat

Los autovalores en un Análisis de Correspondencia Canónica (CANOCO) miden la importancia de cada eje en explicar la varianza de la relación especies-ambiente. En este caso, la variación de la data es explicada en solo dos ejes, con valores absolutos de 0,25 y 0,19 para el primer y segundo eje respectivamente (Tabla 3.4). Asimismo, el porcentaje acumulado de la varianza para las especies derivado de los autovalores fue de 10,6 y 18,6% para el primero y segundo eje, lo cual significa que el CANOCO explica satisfactoriamente sólo 17% de la varianza en la matriz de especies. Si bien este valor puede parecer bajo, hay que tener en cuenta que usualmente los datos de especies contienen mucho ruido, por lo que un CANOCO puede ser muy informativo aun explicando solo un poco de la varianza (ter Braak y Smilauer, 1998). En el caso de la varianza acumulada de la relación especie-ambiente cada eje explica una parte de la varianza observada. Al respecto, la tabla 3.4 muestra que el CANOCO acumula en el segundo eje 60,3% de la varianza explicada de las especies con respecto a las variables ambientales a escala de hábitat (Criadero). Asimismo, la correlación especie-ambiente mide la fuerza de la relación entre especies y ambiente para un eje particular, en este caso la correlación de las especies con los gradientes ambientales es bastante elevada en ambos ejes, siendo 0,70 para el primero y 0,75 para el segundo, lo que sugiere que ambos gradientes tienen influencia en la data, no habiendo mucha diferencia entre ambos. No obstante, los altos valores de correlación no necesariamente significan que una gran cantidad de varianza en las especies

es explicada por las variables ambientales, ya que la varianza es explicada por los autovalores referidos antes (ter Braak y Smilauer, 1998)

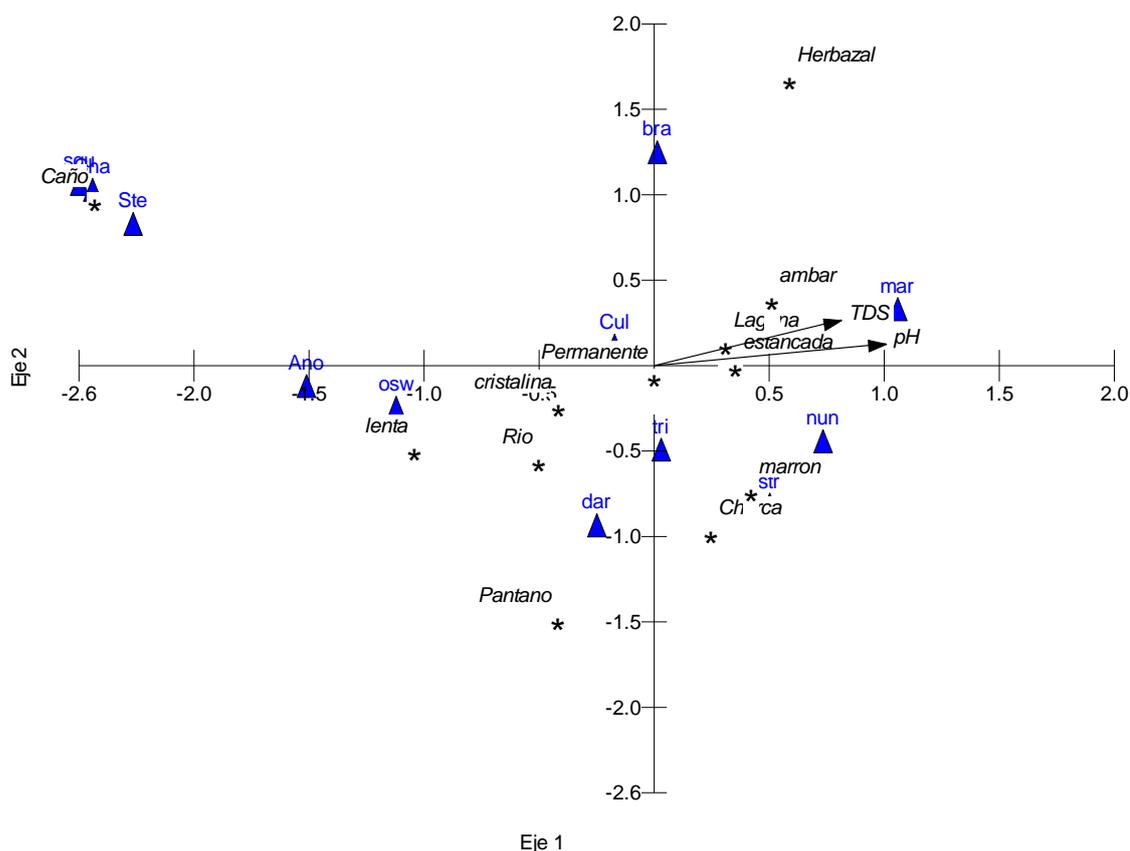
En el diagrama de ordenación del CANOCO mostrado en la figura 3.17, las especies de anofelinos se encuentran distribuidas a lo largo de patrones dominados por la dinámica hídrica y el tipo de criadero. Basados en el conocimiento previo de la ecología de las especies, se sabe que las especies ubicadas al lado derecho del diagrama, son frecuentes en criaderos de aguas estancadas, mientras que las ubicadas en el lado izquierdo son especies que pueden ser encontradas en criaderos con corriente, por lo tanto el eje horizontal del diagrama puede ser interpretado como un gradiente de dinámica hídrica del criadero. De la misma forma, el eje vertical puede ser interpretado con un gradiente de tipo de criadero, que va desde el criadero tipo herbazal en la parte superior al criadero tipo pantano en la parte inferior. De esta manera, en un gradiente destacan *An. marajoara*, *An. nuneztovari*, *An. strodei*, *An. triannulatus*, y en menor grado *An. darlingi* asociados a criaderos tipo laguna y charca, de dinámica hídrica estancada y de aguas color marrón a ámbar. En el otro extremo del gradiente están ubicadas *An. oswaldoi* y las especies del subgénero *Anopheles* asociadas a criaderos de corriente lenta, mientras que *An. darlingi* ocupa una posición intermedia entre estos dos grupos, colocándose entre los criaderos tipo charca, pantano y río. Partiendo de la idea de que proximidad implica similitud, la figura 3.17 muestra que las especies *Chagasia sp.*, *An. (Stethomyia) sp.* y *An. squamifemur* comparten el mismo hábitat, mostrando predilección por el criadero tipo caño, estando asociadas en

menor grado a aguas cristalinas de corriente lenta, mientras que por otro lado, *An. braziliensis* se muestra claramente asociada al criadero tipo herbazal.

Los valores del CANOCO para las especies de anofelinos con respecto a las variables de vegetación hidrófila y luz solar, a escala de micro hábitat (cucharonazo), son resumidos en la tabla 3.5. En este caso, también la variación de las data es explicada en dos ejes, con valores absolutos de 0,30 y 0,11 para el primer y segundo eje respectivamente, asimismo, el porcentaje acumulado de la varianza es solo de 6,5% en el segundo eje, lo cual limita bastante el poder explicativo de este CCA de la variación en las especies. Sin embargo, al restringir por variables ambientales el análisis mejora notablemente, siendo 72,4% el porcentaje acumulado de la varianza de las especies de anofelinos con respecto a las variables de vegetación y luz. Los valores de correlación especie ambiente fueron de 61 y 39% para el primero y segundo eje respectivamente, indicando una influencia dominante del primer eje sobre el segundo.

Tabla 3.4. Autovalores y varianza explicada por el Análisis de Correspondencia Canónica de las especies de anofelinos con respecto al tipo y dinámica hídrica del criadero

Eje de ordenación	Eje1	Eje 2
Autovalores	0,248	0,188
Porcentaje de varianza explicada por cada eje	10,586	8,04
Porcentaje acumulado de la varianza para las especies	10,586	18,625
Porcentaje acumulado de la varianza con respecto al ambiente	34,257	60,276
Correlaciones especie-ambiente	0,695	0,75



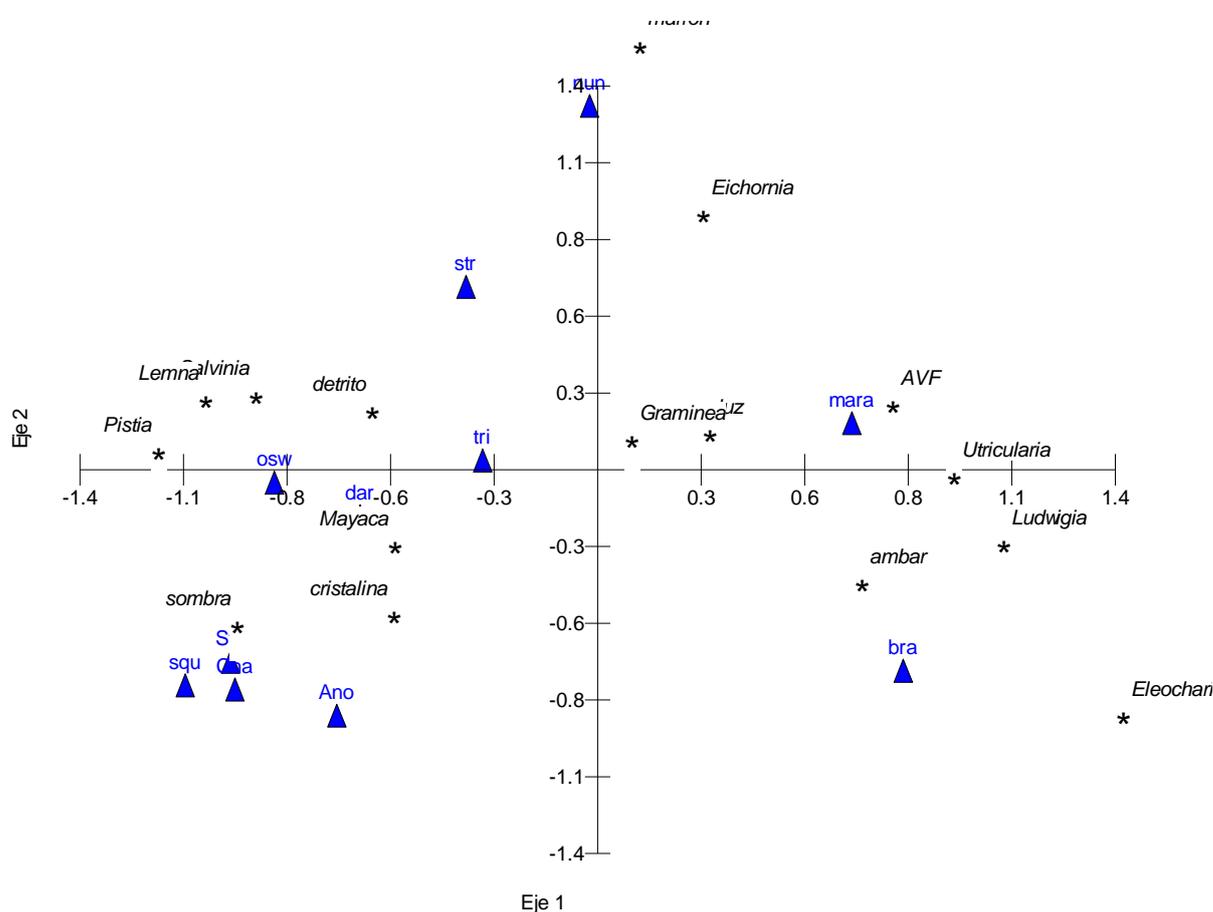
Vector scaling: 2,26

Figura 3.17. Diagrama de ordenación de las especies de anofelino con respecto al tipo y dinámica hídrica del criadero. Ano= *Anopheles*, bra= *braziliensis*, Cul= *culicino*, Cha= *Chagasia*, dar= *darlingi*, mar= *marajoara*, nun= *nuneztovari*, osw= *oswaldoi*, squ= *squamifemur*, Ste= *Stethomyia*, str= *strodei*, tri= *triannulatus*

Tal como lo indican los valores de correlación, el diagrama de ordenación muestra un primer eje horizontal dominante a lo largo del cual se ubica un gradiente de especies de vegetación, mientras que en el eje vertical se insinúan más levemente los gradientes dominados por la luz solar y el color aparente del agua (Figura 3.18). De esta forma, en el cuadrante inferior izquierdo del diagrama destaca el grupo de especies formados por *An. squamifemur*, *An. (Stethomyia) sp*, *An (Anopheles) sp* y *Chagasia*, asociados a micro hábitat sombreados, de agua cristalina y sin vegetación, mientras que *An. oswaldoi* y *An. darlingi*, si bien se encuentran en un micro hábitat influenciado por la sombra, el ambiente está dominado por presencia de vegetación acuática tales como los géneros *Pistia*, *Salvinia* y *Mayaca*, además del detrito. En el otro extremo del gradiente están *An. marajoara* y *An. braziliensis* en un micro hábitat dominado por la presencia de luz solar, agua ámbar y plantas como las gramíneas, AVF, *Utricularia*, *Ludwigia* y *Eleocharis*, esta última muy cercana a *An. braziliensis*. En otro grupo se encuentran *An. nuneztovari* y *An. strodei*, la primera de ellas fuertemente asociada a espacios de agua marrón con presencia de *E. crassipes*. Por último, *An. triannulatus*, dada su ubicación en el diagrama, tiende a ser una especie generalista en cuanto al color del agua, luz solar y presencia de vegetación acuática se refiere.

Tabla 3.5. Autovalores y varianza explicada por el Análisis de Correspondencia Canónica de las especies de anofelinos con respecto a las variables de vegetación y luz a escala de microhabitat (cucharonazo)

Ejes de ordenación	Eje 1	Eje 2
Autovalores	0,295	0,111
Porcentaje de la varianza explicada por cada eje	4,688	1,763
Porcentaje acumulado de la varianza para las especies	4,688	6,451
Porcentaje acumulado de la varianza con respecto al ambiente	52,579	72,352
Correlaciones especie-ambiente	0,613	0,39



Vector scalina: 1.72

Figura 3.18. Diagrama de ordenación de las especies de anofelino con respecto a los tipos de vegetación y luz presentes en el sitio de inmersión del cucharon. Ano= *Anopheles*, bra= *braziliensis*, Cul= *culicino*, Cha= *Chagasia*, dar= *darlingi*, mar= *marajoara*, nun= *nuneztovari*, osw= *oswaldoi*, squ= *squamifemur*, Ste = *Stethomyia*, str= *strodei*, tri= *triannulatus*

4. Discusión

Distribución espacial de las larvas de anofelinos

En trece criaderos de seis tipos diferentes se colectaron 11 taxones de anofelinos, diez pertenecen al género *Anopheles* y una especie no identificada al género *Chagasia*. De las especies de *Anopheles* siete pertenecen al subgénero *Nyssorhynchus*: *An. braziliensis*, *An. darlingi*, *An. marajoara*, *An. nuneztovari s.l.*, *An. oswaldoi s.l.*, *An. strodei* y *An. triannulatus*; una especie al subgénero *Lophopodomyia*, *An. squamifemur*, una especie al subgénero *Stethomyia* y una especie al subgénero *Anopheles*, estas dos últimas aún sin identificar.

Esta lista difiere notablemente de la presentada anteriormente por Moreno et al. (2000), en cuanto al número e identidad de las especies, ya que no están presentes *An. punctimacula* Dyar & Sknab, *An. mediopunctatus* (Theobald), ni *An. neomaculipalpus* Curry, reportadas por Moreno et al. (2000) para el municipio. Es muy posible que alguna de estas especies, o todas ellas, estén incluidas dentro del taxón identificado aquí como *An. (Anopheles) sp.* Tampoco están reportadas en este trabajo *An. eiseni* Coquillett ni *An. peryassui* Dyar & Knab, las cuales completan la lista de cinco especies del subgénero *Anopheles* reportadas por Moreno et al. (2000). En el caso de *An. mediopunctatus*, esta especie junto con *An. costai* y *An. forattinii* Wilkerson y Sallum forman un grupo cuyos adultos hembras son indistinguibles entre sí (Wilkerson y Sallum 1999). De estas tres, *An. costai* ha sido la única especie confirmada para el municipio por Moreno y Rubio-Palis (2003), a partir de

especímenes identificados inicialmente como *An. mediopunctatus* (Moreno et al. 2000). Tampoco esta reportada en esta lista *An. argyritarsis* Robineau-Desvoidy, debido a que las hembras de esta especie oviponen en criaderos muy específicos ubicados fuera del rango de los incluidos en éste muestreo, tales como huecos de roca, manantiales y contenedores artificiales (Rejmankova et al. 1993, Berti et al. 1993, Forattini et al. 1998). De la misma manera, el registro de especies del subgénero *Stethomyia*, contribuirá a aumentar el número de especies de esta lista, y constituye un gran aporte al conocimiento de la distribución geográfica de ese grupo, del cual se sabe muy poco. En conclusión, de lo señalado anteriormente se deduce que el número de especies presentes en el área de estudio es superior al reportado en este trabajo.

En cuanto al subgénero *Nyssorhynchus*, *An. triannulatus* fue la especie más abundante, representado la cantidad de larvas de esta especie más de la mitad del total colectado. Asimismo, esta especie fue la de más amplia distribución, encontrándosele en todos los tipos de criaderos muestreados, siendo particularmente abundante en charcas y lagunas, mientras que en los demás criaderos, si bien estuvo presente, fue bastante escasa, confirmándose la distribución espacial de esta especie y su naturaleza ubicua en el municipio (Berti et al. 1998, Moreno et al. 2000). Esta especie parece preferir las charcas y lagunas a pleno sol, según los resultados reportados de otros lugares de Venezuela, donde se ha colectado *An. triannulatus* en altas densidades, siendo casi siempre la especie más abundante en el criadero (Berti et al. 1993, 2008;

Rubio-Palis et al. 2005, 2010; Rojas et al. 1992, Rejmankova et al. 1999). Estas características de la especie, en cuanto a tipo de criadero y abundancia, parecen ser un rasgo común a lo largo de su distribución geográfica en Suramérica, pues León et al. (2003) y Vittor et al. (2009) en Perú y Brochero et al. (2006) en Colombia, también colectaron *An. triannulatus* en altas densidades en charcas y estanques piscícolas a pleno sol.

Anopheles marajoara fue la segunda especie más abundante y más ampliamente distribuida, encontrándosele en cinco de los seis tipos de criaderos, también en este caso los resultados coinciden con lo señalado anteriormente por Moreno et al. (2000) para el municipio. No obstante, esta especie parece tener preferencia por las lagunas, charcas y herbazales, pues a diferencia de *An. triannulatus* fue bastante escasa en los demás criaderos. Resultados similares obtuvieron Berti et al. (1993) en Sucre, quienes colectaron esta especie (= *An. albitarsis*) exclusivamente en lagunas, siendo la especie más abundante en el estudio, y Rojas et al. (1992) en Barinas también la colectaron en charcas temporales y permanentes. Según Faran & Linthincum (1981) *An. marajoara* (= *An. allopha*) es una especie cuyas larvas son frecuentes y abundantes en charcas, orilla de los lagos y pequeños pozos, pero siempre en aguas estancadas y a pleno sol. Estos resultados, acerca de la distribución espacial de la especie, son particularmente importantes dado el papel vectorial de esta especie en el municipio y a que su principal criadero en el área lo constituyen las charcas generadas por la actividad minera (Moreno et al. 2000, 2007, 2009).

En las demás especies del subgénero *Nyssorhynchus* se nota una notable disminución en la abundancia con respecto a las dos primeras, destacándose la preferencia de *An. braziliensis* por el criadero tipo herbazal, siendo la especie dominante en este tipo de hábitat que comparte con *An. marajoara* y *An. triannulatus*, aunque se le encuentra también de manera importante en las lagunas. Según Faran & Linthicum (1981) el hábitat típico de *An. braziliensis* está representado por pozos y charcas de aguas claras, pantanos y arrozales, siempre a pleno sol o parcialmente sombreados, nunca completamente a la sombra. De igual manera, los resultados indican que *An. oswaldoi* s.l. fue colectado con mayor frecuencia en los criaderos tipo charca y caño, coincidiendo con el trabajo anterior de Moreno et al. (2000), en cual esta especie fue más abundante en lagunas y quebradas, siendo básicamente estos los mismos tipos de criaderos. Igualmente en el estado Bolívar, en la cuenca del río Caura, Rubio-Palis et al. (2010) reportan que *An. oswaldoi* fue más abundante en los caños y pantanos, correspondiendo esta última denominación a un bosque inundado por desborde del río, mientras que en el estado Amazonas Rubio-Palis et al. (2005) reportan que la especie prefiere los criaderos tipo pozo y caño. Sin embargo, Berti et al (1993) refieren que *An. oswaldoi* fue más abundante en marismas salobres afectadas por las mareas en el estado Sucre, a pesar de que también se le colectó abundantemente en lagunas y arroyos, siendo las marismas salobres un hábitat poco frecuente para la especie, por lo que es posible que en este reporte haya errores de identificación, puesto que existen otros estudios de la misma área que reportan

que *An. oswaldoi* fue más abundante en pequeñas charcas, ciénagas y canales, pero siempre en agua dulce (Grillet 2000)

En general, entre las diferencias señaladas por diversos autores, emerge un patrón en cuanto al hábitat preferido por *An. oswaldoi*. El hábitat tipo de esta especie está conformado por depósitos de agua estancada tales como charcas, pozos y lagunas, suelos inundados y pequeñas corrientes de agua similares a caños y quebradas, pero siempre en el interior del bosque o al borde de este, siendo la sombra la condición indispensable para su presencia, tal como lo señalan Faran & Linthicum (1981). Un rango tan amplio en cuanto a la ecología de la especie como el señalado anteriormente, pudiera estar indicando la presencia de más de una especie dentro del taxón en Venezuela, aspecto que ha sido señalado por Rubio-Palis (2005). Al respecto, se ha sugerido que *An. oswaldoi* s.l. es un complejo en el cual hay por lo menos dos especies indistinguibles entre sí, *An. konderi* que ocupa espacios abiertos en áreas recién modificadas y *An. oswaldoi* s.s. restringida al interior de áreas boscosas (Flores-Mendoza et al. 2004)

En el subgénero *Nyssorhynchus* también se reportan dos nuevas especies no registradas en la lista de Moreno et al. (2000), *An. strodeji*, señalada para el municipio por Berti et al. (1998) y *An. nuneztovari*, lo cual constituye un registro para el municipio de gran importancia epidemiológica, reportada previamente por Moreno et al. (2004). Estas dos especies fueron colectadas casi exclusivamente en las charcas, habiendo sido ya ambas especies colectadas juntas en charcas temporales y permanentes en

Venezuela en el estado Barinas (Rojas et al. 1992). De igual manera Parra-Henao y Alarcon (2008) reportan desde Colombia haber colectado larvas de *An. nuneztovari* en charcas turbias poco soleadas, mientras que Brochero et al. (2006) la colectaron exclusivamente en estanques piscícolas. Al igual que ocurre con *An. oswaldoi* la situación taxonómica de *An. nuneztovari* no está clara en Venezuela, ya que pudiera haber más de una especie dentro de este taxón en el país, teniendo en cuenta que *An. dunhami* y *An. goeldii* fácilmente pueden ser confundidas con *An. nuneztovari* (Peyton 1993, Calado et al. 2008), por lo que es necesario confirmar con técnicas moleculares la identidad de las especies presentes en Venezuela.

Es necesario resaltar la distribución espacial de *An. darlingi*, dada su gran importancia vectorial en el área de estudio (Moreno et al. 2007, 2009). Tradicionalmente *An. darlingi* ha sido descrita como una especie rivereña, cuyos criaderos preferidos lo constituyen arroyos en el bosque, bosques inundados y pequeñas charcas a la orillas de los grandes ríos, todos en áreas total o parcialmente sombreadas (Hudson 1984, Faran y Linthincum 1981, Rozendaal 1990). Según Hiwat y Breta (2011) las larvas de *An. darlingi* requieren de condiciones fisicoquímicas estables en los criaderos, las cuales no pueden conseguir en pequeños cuerpos de agua, por lo que esta especie prefiere criaderos grandes y profundos como lagunas, pantanos y grandes ríos. Sin embargo, han surgido evidencias de un cambio en el patrón de distribución de esta especie, derivado de las alteraciones ambientales ocasionadas por la actividad humana. En este sentido, Vittor et al. (2009) sugieren la preferencia

de esta especie por las grandes charcas con abundantes macrofitas, asociadas a ambientes alterados dominados por vegetación secundaria y con presencia de humanos en Perú. En este estudio, los resultados fueron muy similares a los referidos por Vittor et al. (2009), siendo *An. darlingi* más abundante en charcas grandes y pequeñas, sombreadas parcial o totalmente, con abundantes algas y detritos, y cerca de viviendas humanas. Este es un resultado coherente con el cambio de patrón señalado anteriormente, si bien los criaderos sombreados con corriente tipo río y caño, siguen manteniendo un lugar importante como criaderos característicos de este importante vector de malaria. Para el área de estudio, Moreno et al. (2000) previamente habían asociado a *An. darlingi* a criaderos residuales de la actividad minera tipo charcas, y la especie había sido colectada en charcas muy pequeñas en áreas parcialmente deforestadas y en la orilla de los ríos en época de sequía (Moreno et al. datos no publicados). La ubicación de los criaderos de *An. darlingi* en áreas de transición entre el bosque y espacios deforestados también ha sido descrita por Barros et al. (2011) en Brasil, quienes propusieron el modelo de borde, *forest fringes*, para explicar esta distribución y su relación con la presencia de viviendas humanas. Asimismo, Berti et al. (2008) en un estudio realizado en la misma zona, reportan que *An. darlingi*, si bien fue más abundante en quebradas, también se le colectó con mucha frecuencia en “lagunas con sombra”, siendo muy posible que este tipo de criadero, al cual se refieren Berti et al. (2008), sean los mismos hábitats referidos aquí como charcas. Este tipo de hábitat también es referido por Rejmankova et al. (1999) y Rubio-Palis et al. (2005) quienes colectaron

esta especie con mayor frecuencia y abundancia en lagunas con micrófitas en el estado Amazonas, Venezuela.

En cuanto a otras especies de anofelinos colectadas, se confirman los resultados reportados por Moreno et al. (2000) con respecto a la distribución y abundancia de *An. squamifemur*, *Chagasia* sp. y larvas del Subgénero *Stethomyia*, manteniéndose los criaderos tipo caño como los hábitats preferidos por estas especies y la naturaleza simpátrica de su distribución. Con respecto al género *Chagasia*, no está clara la identidad taxonómica de la especie de este género presente en el área de estudio, debido a que anteriormente había sido identificada como *Ch. bathana* (Moreno et al. 2000), pero recientemente Berti et al. (2011) han reportado la presencia de *Ch. bonnae* Root, y *Ch. ablusa* Harbach, por primera vez en Venezuela, colectadas en el Municipio Gran Sabana vecino al área de estudio, lo cual pone en duda la existencia de *Ch. bathana* en Venezuela y obliga a revisar la identidad de la especie identificada como tal en el municipio Sifones del estado Bolívar. Igualmente las especies del subgénero *Anopheles*, son más frecuentes en los caños y pantanos, mientras que la descripción del caño como criadero tipo para el subgénero *Stethomyia*, constituye un aporte relevante y que coincide con lo reportado por Rubio-Palis et al. (2010), quienes señalan los arroyos y manantiales en la región del río Caura en el estado Bolívar, como los criaderos preferidos por este Subgénero.

Relaciones de las especies de anofelinos con variables ambientales en el micro hábitat

Los resultados discutidos anteriormente en cuanto a la distribución espacial de las especies de anofelinos por tipo de hábitat, son confirmados por el Análisis de CANOCO, el cual examina las relaciones de las especies individuales con las variables ambientales del hábitat. Según Rejmankova et al. (2000) la distribución espacial y temporal de los hábitats de larvas de anofelinos están definidos por la hidrología y la vegetación acuática, ya que los hábitats ricos en vegetación proveen refugio contra depredadores y alimento. Al mismo tiempo, la presencia de vegetación en un criadero está regulada por elementos determinantes tales como la presencia de luz solar y la dinámica hídrica e hidroperiodo del criadero, en consecuencia a los cuales la vegetación tiende a desarrollarse bien en cuerpos de agua que tienen la permanencia necesaria y disponibilidad suficiente de luz solar (Rejmankova et al. 1999). Asimismo, se ha sugerido que la dinámica hidrológica tiene un efecto profundo en los ciclos de vida y dinámica de colonización de los organismos acuáticos (Grillet et al. 2002) En ese sentido, este trabajo se enfocó en el análisis de las relaciones de las especies de anofelinos con las variables del hábitat y micro hábitat, analizándose por un lado las relaciones de las especies con la dinámica hídrica del agua e hidroperiodo, y por el otro las relaciones con la vegetación acuática y la presencia de luz en el criadero.

Con relación a la dinámica hídrica y características del agua, el análisis permitió establecer grupos de especies de acuerdo al perfil del criadero,

especies que preferiblemente se crían en aguas estancadas y que difícilmente pueden ser encontradas en aguas con corriente como *An. braziliensis*, *marajoara*, *An. nuneztovari* y *An. triannulatus*, (Moreno et al. 2000, Rozendaal 1990), versus especies que solo pueden ser colectadas en agua corriente, como las especies del subgéneros *Stethomyia*, *Chagasia* y *An. squamifemur*. Otro grupo de especies están ubicadas a lo largo del gradiente y que pueden ser colectadas en ambos tipos de dinámica hídrica, tanto en aguas estancadas como en quebradas y ríos, pero en lugares protegidos de la corriente por troncos, detritos y plantas flotantes como las del subgénero *Anopheles*, *An. darlingi* y *An. oswaldoi* (Charlwood 1996, Moreno et al 2000, Rozendaal 1990). De forma similar, Sinka et al (2010), clasifican las especies de anofelinos en estas dos categorías, coincidiendo con este trabajo en la distribución para *An. darlingi*, pero no para *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, especies que ellos tipifican en criaderos con corrientes, las cuales si bien pueden ser ocasionalmente colectadas en este tipo de criaderos, no constituyen éstos sus criaderos típicos.

Otra variable importante que resalta del análisis es el color aparente del agua, según Stein et al. (2011) además del tamaño y la vegetación, el color aparente del agua en el criadero es una de las características que más contribuye a la variabilidad en las especies, siendo esta una variable subvalorada y poco estudiada. Con respecto a esta característica el análisis permitió establecer tres grandes grupos *a priori*: las especies que se encuentran en aguas de color ámbar, que son la mayoría, las especies de agua

turbia, y las especies de aguas cristalinas como las del subgénero *Stethomyia* y otras especies raras. En este aspecto Sinka et al (2010) colocan todas las especies de vectores en criaderos de agua clara, siendo que algunas especies, como *An. darlingi*, *An. oswaldoi* y *An. nuneztovari*, pueden ser colectadas con mucha frecuencia en criaderos de aguas muy turbias, lo cual ha sido reportado para esta última especie (da Silva-Vasconcelos et al. 2002, Nagm et al. 2007).

En cuanto a la presencia de luz solar y vegetación, la productividad de un criadero depende, además de las condiciones físico-químicas adecuadas, de una buena proporción de luz y sombra. (Hiwat y Bretas 2011). La mayoría de las especies de mosquitos requieren de condiciones específicas, variables de una especie a otra, en cuanto a la demanda de luz y de sombra. En este sentido, Alfonzo et al. (2005), lograron separar dos grupos de culicinos alineados a lo largo de dos gradientes claramente diferenciados, uno asociado a áreas abiertas expuestas al sol y con presencia de macrofitas, y otro ligado a áreas sombreada, en pequeños pozos dentro del bosque. Asimismo, Sinka et al (2010), clasifican las especies de vectores como heliofílicas y heliofóbicas, según el grado de exposición solar en que se encuentren, colocando a *An. darlingi* como heliofóbica, *An. marajoara* como heliofílica y *An. nuneztovari* en ambas categorías. En el caso de *An. darlingi* se sabe que prefiere los hábitat parcialmente sombreados ubicados en el borde del bosque y áreas recientemente deforestadas donde penetre la luz solar (Barros et al. 2011, Charwood 1996, Hiwat y Bretas 2011, Rozendaal 1990). Este es un hábitat que es compartido por otras especies tales como *An. oswaldoi* y eventualmente

An. nuneztovari y *An. triannulatus*, aunque el hábitat de estas dos últimas especies se desplazan más hacia ambientes completamente soleados, mientras que se ha afirmado que *An. oswaldoi* prefiere ambientes completamente sombreados (Brochero et al. 2006, Moreno et. al 2000, Rejmankova et al. 1999, Rozendaal 1990). Hay un segundo grupo de especies claramente heliofílicas asociadas a espacios abiertos expuestos a la luz y con abundante vegetación macrofitas, entre las cuales destacan *An. triannulatus*, *An. marajoara* y *An. braziliensis*, justamente las más abundantes, esto es debido a que los ambientes ricos en vegetación son más heterogéneos y ofrecen cobertura para los invertebrados y sustrato para crecimiento de algas que sirven de alimento y propician la abundancia de larvas de anofelinos y otros invertebrados acuáticos (Grillet et al. 2002). Un último grupo de especies, entre las cuales están la de los subgéneros *Anopheles* y *Stethomyia*, el género *Chagasia* y *An. squamifemur*, prefieren los hábitat completamente sombreados y carentes de vegetación (Rejmankova et al. 1999).

En general el análisis permitió establecer hábitats tipo para grupos de especies más que para especies individuales, con base en criterios de variables bióticas tales como la presencia o ausencia de vegetación acuática y variables abióticas tales como la dinámica hídrica y la presencia de luz solar, los cuales se pueden resumir en tres grupos principales: especies cuyo hábitat tipo está constituido por criaderos estancados, a pleno sol y con vegetación, especies de criaderos con corriente, a la sombra y sin vegetación y especies de ambientes intermedios. Sin embargo, también permitió establecer algunas

asociaciones individuales interesantes, que fueron muy consistentes, tales como la de *An. braziliensis* al hábitat tipo herbazal dominado por *Eleocharis* y *An. nuneztovari* al criadero tipo charca de agua turbia.

Las asociaciones entre algunas especies de anofelinos y la vegetación acuática han sido ampliamente demostradas, así como la utilidad de la vegetación para predecir la presencia de determinada especies, lo cual también ha sido suficientemente explicado en el carácter estructural que confiere la vegetación al hábitat (Savage et al. 1990; Rejmankova et al. 1991, 1992, 1993, 2000). Un aporte novedoso en este estudio, lo constituye la caracterización de hábitats carentes de vegetación, a la sombra y con una dinámica hídrica diferente, para especies consideradas raras, de las cuales se sabe muy poco por lo que este resultado constituye un avance importante en su conocimiento. Otro aporte importante, por su aplicabilidad en el control, lo constituye la caracterización de los hábitats para especies vectoras como *An. darlingi*, y *An. oswaldoi*, sobre las cuales hay mucha incertidumbre y evidencias firmes de adaptación a cambios antropogénicos (Vittor et al. 2009, Moreno et al. 2000). En este sentido, se confirma la preferencia de *An. darlingi* y *An. oswaldoi* por ambientes intermedios, parcialmente sombreados, de aguas de corriente lenta a estancada, con presencia de detrito y vegetación acuática de los géneros *Mayaca*, *Salvinia*, *Lemna* y *Pistia*. La asociación entre estas dos especies de anofelino había sido señalada anteriormente por Rubio et al. (2005) para el estado Amazonas, si bien en este trabajo no se establecen asociaciones de las especies con la vegetación acuática, mientras que Rejmankova et al. (1991)

señalan que la presencia de lemnáceas y *Salvinia* no son favorables para la producción de mosquitos cuando la abundancia de estas plantas es tal que forma una cobertura sobre el agua que impide la oviposición. El patrón de distribución de los mosquitos a nivel de paisaje es un aspecto que ya ha sido estudiado en Venezuela (Alfonzo et al. 2005), sin embargo, más allá de los resultados obtenidos, puede considerarse que el principal aporte de este trabajo lo constituye el intento de caracterizar y describir los criaderos de anofelinos a nivel individual en el micro hábitat, lo que constituye un avance importante en la comprensión de la ecología de las especies y los factores que modulan su distribución espacial en Venezuela

Según Stein et al. (2011), la capacidad de relacionar las especies de anofelinos con cierto tipo de hábitat, de acuerdo a las características más importantes tales como, el tipo de criadero, la exposición solar, la presencia o no de vegetación, la dinámica hídrica y el color del agua, es de gran importancia debido a su valor predictivo, ya que estas características pueden ayudar a revelar la presencia de ciertas especies siendo esto de gran importancia en el muestreo de anofelinos y en el control de enfermedades.

Distribución temporal de las larvas de anofelinos

La fuerte asociación que existe entre el patrón de distribución temporal de los mosquitos y la fluctuación en el hábitat acuático provocada por las lluvias ha sido suficientemente documentada (Charlwood 1996, Galardo et al. 2009, Gomes et al. 2008, Grillet 2000, Rozendaal 1990). Si bien el signo de esta relación no siempre es positivo, pues la naturaleza de esta interacción es

multifactorial y depende de aspectos tales como la especie de anofelino, la topografía, el paisaje, el clima, el tipo de criadero e incluso la acción del hombre (Girod et al. 2008). En este sentido, se ha demostrado que la actividad humana favorece la aparición de criaderos lo cual contribuye al incremento de la densidad de las poblaciones de mosquitos, lo cual es particularmente crítico en las áreas de explotación mineras y áreas recién deforestadas para actividad agrícola (Gomes et al. 2008; Moreno et al. 2000, 2007; Vittor et al. 2009). En este segmento se discuten las fluctuaciones poblacionales de las cinco especies más abundante en el área de estudio, tres de las cuales están incluidas la lista de vectores dominantes de América (Sinka et al. 2010).

Con respecto a *An. darlingi*, algunos autores han reportado que la densidad de esta especie se incrementa durante la época lluviosa, y que su área de distribución se expande debido a que las lluvias incrementan el numero de criaderos disponibles con las inundaciones (Girod et al. 2008, León et al. 2003, Monteiro & Alves 2007, Monteiro et al. 2011), mientras que hay quienes reportan incrementos en la densidad durante la estación seca (Berti et al. 2008), pero la mayoría coincide en que la densidad de esta especie se eleva durante los periodos de transición, lluvia-sequia sequia lluvia, cuando los ríos bajan y suben el nivel, se hacen cúmulos de vegetación y detrito y las posibilidades de lavado disminuyen (Achee et al. 2006, Charlwood 1996, Galardo et al. 2009). Los resultados de este trabajo sugieren que la dinámica poblacional de *An. darlingi* parece más bien parece estar supeditada al tipo de criadero y a su dinámica hídrica, incrementando o disminuyendo su densidad

de acuerdo al flujo de agua en este, reflejando la variabilidad de hábitat que explota esta especie (Achee et al. 2006). De esta manera, en criaderos estancados y periódicamente estables la población de mosquitos es menos afectada por las fluctuaciones en la precipitación que en los criaderos con corriente como ríos, quebradas y drenajes, los cuales sufren el efecto de inundaciones y corrientes que afectan su productividad (Forattini 1987). No ocurre lo mismo con la distribución espacial, pues esta sí está limitada por la disponibilidad de criaderos, los cuales pueden incrementarse durante la época de lluvias (Roberts et al. 2002). En consecuencia, dado que en el área de estudio los criaderos principales para *An. darlingi* lo constituyen las charcas de agua estancada producidas de la actividad minera (Moreno et al. 2000), la densidad poblacional de este vector es poco afectada por la lluvia y es bastante estable a lo largo del año, decreciendo solo en los periodos extremos de mucha sequía o mucha lluvia, con tendencia al incremento inmediatamente después del pico de lluvias y al comienzo de la temporada seca, tal como ha sido reportado para esta misma área y otros lugares de Suramérica (Berti et al. 2008, Gomes et al. 2008, Hiwat y Bretas 2011). La complejidad de esta especie radica en que explota una gran diversidad de criaderos (Charlwood 1996, Girod et al. 2008, Hudson 1984, Moreno et al. 2000), con o sin corriente, lo que le da una gran capacidad de adaptación a los cambios estacionales de la precipitación, garantizando una población más o menos estable, y por ende la transmisión de malaria durante todo el año.

No obstante, la dinámica de transmisión de malaria en esta área es más compleja, pues además de *An. darlingi* también están presentes *An. marajoara* y *An. nuneztovari* s.l., el primero de ellos un importante vector en esta área endémica y en el norte de Suramérica y el segundo vector principal de malaria en el occidente de Venezuela y Colombia (Conn et al. 2002; Gabaldon 1981; Galardo et al. 2007; Moreno et al. 2004, 2007). *Anopheles marajoara* es más abundante y está más ampliamente distribuido que *An. darlingi* en esta zona, tiene una tasa de picada superior a éste y la tasa de infección es similar, por lo tanto su dinámica poblacional afecta tanto como la de *An. darlingi* la transmisión de malaria (Moreno et al. 2007). A diferencia de esta especie, *An. marajoara* es más selectiva en cuanto al tipo de criaderos que explota, los resultados de este trabajo demuestran que su rango de distribución está restringido a criaderos estancados parcialmente sombreados o a pleno sol, tipo charcas, lagunas y herbazales, en coincidencia con lo reportado por otros autores (Faran y Linthicum 1981, Moreno et al. 2000), y en discrepancia con Galardo et al. (2009), quienes sugieren que esta especie explota un amplio rango de hábitat lo cual le permite soportar dramáticos cambios estacionales y le confiere ventajas sobre las demás especies. Los resultado de este trabajo, tanto en la distribución espacial como en la estacional, apuntan a que al estar restringida la especie a criaderos estancados muy homogéneos, a diferencia de lo que ocurre con *An. darlingi*, su dinámica poblacional es menos afectada por la lluvia, manteniéndose más o menos igual durante todo el año, con un fuerte incremento en el periodo de transición lluvia-sequía, cuando las condiciones

climáticas favorecen el aumento de la vegetación acuática. Esta condición le permite sacar ventaja de la disponibilidad de un gran número de criaderos similares estables durante todo el año, en vez de explotar una gran variedad de criaderos, tal como ha sido sugerido para explicar la abundancia de *An. aquasalis* en el oriente de Venezuela (Grillet 2000). Son pocas las referencias acerca de las fluctuaciones de la abundancia de *An. marajoara* en los criaderos, pero en cuanto a la fluctuación estacional de los adultos Galardo et al. (2009) en Amapí, Brasil, reportan que *An. marajoara* incrementa su abundancia durante el periodo de transición lluvia-sequia, mientras que para Rubio-Palis y Curtis (1992) en el occidente de Venezuela, si bien hubo mucha variación en la abundancia entre localidades, el pico ocurrió durante el mismo periodo en la localidad donde la especie fue más abundante. Sin embargo, en un estudio realizado previamente en la misma área por Moreno et al. (2007), se reporta que los adultos de *An. marajoara* fueron más abundante durante el periodo de transición sequia-lluvia, de marzo a agosto, lo cual puede ser un reflejo de la variabilidad que presenta esta especie entre localidades dentro de una misma área. Si bien no hay coincidencia entre la abundancia de adultos reportada previamente por Moreno et al (2007) y la abundancia de las larvas reportada en este trabajo, hay que tener en cuenta que no siempre hay sincronía entre las fluctuaciones poblacionales de los inmaduros y los adultos, debido a ambos estadios pueden estar sometidos a diferentes factores de mortalidad. En este sentido, Monteiro et al. (2011) demostraron que las tasas de picada y sobrevivencia de *An. darlingi* decrecían significativamente durante

la época de lluvias, mientras que no ocurría lo mismo en los criaderos, sugiriendo que la lluvia constituía un factor de mortalidad para los adultos de la especie.

Según Rozendaal (1990) *An. nuneztovari* fue más abundante en Surinam durante el periodo de sequía, siendo colectada esta especie en charcas soleadas formadas en el lecho del río en época de sequía, mientras que Galardo et al. (2009) reportan que *An. nuneztovari* incrementa su abundancia inmediatamente después del inicio de las lluvias, tomando ventaja de charcas temporales. De manera similar, Scorza et al. (1977, 1981) en el piedemonte andino de Venezuela, colectaron larvas de *An. nuneztovari* en dos charlas a pleno sol, encontrando que las larvas eran más abundantes durante el periodo de transición, lluvia-sequía o durante la época de sequía. Los resultados de este trabajo en cuanto a la distribución espacial y estacionalidad de *An. nuneztovari* muestran una gran coincidencia con lo reportado por los autores referidos arriba, los datos sugieren que en esta área la especie tiende a incrementar su abundancia durante el periodo de transición hacia la temporada seca, no obstante, hay que tener cautela con estos resultados, ya que pudieran estar sesgados por un tamaño de muestra muy pequeño, por lo cual es necesario profundizar en el estudio de este aspecto.

Anopheles triannulatus es la especie más abundante y ubicua en los criaderos en el área de estudio, y así parece ser en todo el área de su distribución geográfica en Venezuela y los países de Suramérica de donde se reporta su presencia (Brochero et al. 2006, Lorenco-de-Oliveira et al. 1989,

Moreno et al 2000). Si bien no es considerada como vector principal de malaria, esta especie puede jugar un rol secundario en la transmisión de malaria a elevadas densidades y ha sido conseguido naturalmente infectado con *Plasmodium* (Silva-do-Nascimento y Lourenço-de-Oliveira 2007). En este estudio, la curva de fluctuación poblacional obtenida en este estudio, mostró que la *An. triannulatus* fue más abundante durante la época de menos lluvia, con un pico al comienzo de la estación seca, tanto en criaderos con corriente como en los estancados, resultado similar al reportado por Guimaraes et al. (2004) en Brasil. Sin embargo, la dinámica poblacional de esta especie, que comparte hábitat con *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, es conocida por la variabilidad a lo largo de su distribución geográfica en Suramérica, en general se ha reportado que su abundancia aumenta durante la transición sequia – lluvia y durante la época de lluvias (Silva-do-Nascimento y Lourenço-de-Oliveira 2007, Souza-Santos 2002). No obstante, Galardo et al (2009) reportaron que la especie es más abundante durante la transición lluvia-sequia, siendo una constante la estabilidad poblacional de la especie a lo largo del año, lo cual es atribuido a que explota criaderos permanentes.

La otra especie de relativa importancia por su amplia distribución y ubicuidad en el área de estudio es *An. oswaldoi*, una especie que, si bien no ha sido involucrada en la transmisión de malaria en Venezuela, tiene status de vector secundario en América (Sinka et al. 2010). Con respecto a esta especie, además de su ambigüedad taxonómica, existe el inconveniente de por lo general su abundancia es baja en casi todos los sitios donde se le colecta, lo

cual puede ser fuente de sesgo en estudios estacionales. En este estudio, *An. oswaldoi* fue más abundante durante la transición sequía-lluvia, siendo más abundante al final de la estación seca, notándose un efecto negativo dramático del incremento de la lluvia en la densidad de especie. Estos resultados son similares a los reportados por Grillet (2000), para quien los cambios estacionales de las poblaciones larvales de esta especie están fuertemente relacionados al régimen hidrológico y al tipo de criadero que explota. En este caso, *An. oswaldoi* fue colectada principalmente en charcas alimentadas por escorrentías y líneas de drenajes, expuestas al efecto de lavado de la lluvia, lo cual explica la drástica disminución de la abundancia al comienzo de las precipitaciones.

Los resultados de este trabajo indican que, en general, cuando se analizan todas las especies en conjunto, o individualmente por especie, las densidades de larvas en los criaderos tienden a ser más elevadas durante la época de menos lluvia, con una drástica disminución al comienzo de las precipitaciones, cuyo efecto es más marcado en los criaderos con corriente. Este fenómeno ha sido descrito por Ageep et al. (2009) para *An. arabiensis* en el norte de Sudan, quienes reportaron que las fluctuaciones poblacionales de esta especie eran inversas a las crecidas del río Nilo.

La reducción de la densidad al comienzo del periodo de lluvia es un hecho que ha sido verificado por diferentes autores. En este sentido la mayoría coincide en que en las regiones tropicales, la variaciones estacionales de las poblaciones de mosquitos están relacionadas con el régimen pluvial local, que

afecta la disponibilidad y el tamaño de los criaderos, lo cual eventualmente podría favorecer a aquellas especies que explotan criaderos permanentes permitiéndoles tener poblaciones más estables a lo largo del año (Galardo et al 2009, Hiwat y Breta 2011, Grillet 2000, Tadei et al.1998). Durante el periodo de sequia el numero de criaderos se reduce así como su tamaño, persistiendo solo los criaderos permanentes en áreas soleadas como lagos y lagunas, pero se incrementa el número de criaderos temporales por el estancamiento de quebradas y ríos y la formación de charcas en áreas boscosas. Al comienzo del periodo de lluvias se expanden los sitios de reproducción por efecto del desborde de los ríos e inundaciones, pero lo criaderos permanentes como lagunas, ríos y quebrada son afectados por el fenómeno de lavado, de tal manera que los periodos de transición son los más favorables para las poblaciones de larvas como lo indica la evidencia (Achee et al. 2006, Charlwood 1996, Galardo et al 2009, Scorza et al. 1981, Souza-Santos 2002).

En conclusión, el efecto de la lluvia sobre las poblaciones de anofelinos es diferencial y dependerá del tipo de criadero que las especies exploten, sin embargo, se ha demostrado que este panorama puede cambiar totalmente por efecto del factor humano (Gomes et al. 2008, Moreno et al. 2000, Vittor et al. 2009), cuya actividad puede alterar la relación de los mosquitos con el régimen de lluvias al alterar la disponibilidad y la calidad de los criaderos, tal como ocurre en el área de este estudio por la actividad minera, por lo cual este es un tema que debe ser investigado con mayor profundidad.

5. Conclusiones

1. El criadero con la mayor diversidad de especies de anofelino y la mayor abundancia de larvas fue el tipo charca, seguido por el criadero tipo lagunas en cuanto a abundancia y los caños en cuanto a diversidad. Asimismo los criaderos con menor diversidad fueron las lagunas y el herbazal, mientras que el de menor abundancia fue el pantano.
2. El hecho de que las charcas sean el tipo de criadero más importante en la zona, confirma que las modificaciones al paisaje generadas por la actividad humana son el principal factor que propicia el incremento en la diversidad y la abundancia de los anofelinos, al generar espacios adecuados para la reproducción de los mismos.
3. *Anopheles triannulatus* fue la especie más abundante en todos los criaderos y la más ubicua, estando presente en todos los tipos de criaderos. *Anopheles marajoara* fue la segunda especie más abundante y más ampliamente distribuida, mostrando preferencia por las lagunas, charcas y herbazales, pues a diferencia de *An. triannulatus*, fue bastante escasa en los demás tipos de criaderos.
4. *Anopheles darlingi* fue más abundante en charcas grandes y pequeñas, sombreadas parcial o totalmente, con abundante algas y detritos, y cerca de viviendas humanas, un resultado coherente con el cambio de patrón señalado en la literatura, si bien los criaderos con corriente tipo río y caño a la sombra, siguen manteniendo un lugar importante como criaderos característicos de esta especie.

5. En las demás especies del subgénero *Nyssorhynchus* se nota una notable disminución en la abundancia con respecto a las tres primeras, destacándose la preferencia de *An. braziliensis* por el criadero tipo herbazal, siendo la especie dominante en este tipo de hábitat que comparte con *An. marajoara* y *An. triannulatus*, aunque también se le encuentra en las lagunas.
6. En general, hay un patrón que emerge en cuanto al hábitat tipo de *An. oswaldoi*, el cual está conformado por depósitos de agua estancada tales como charcas, pozos y lagunas, suelos inundados y pequeñas corriente de agua similares a caños y quebradas, pero siempre en el interior del bosque o al borde de este, siendo la sombra la condición indispensable para su presencia.
7. La variedad de hábitat explotado por *An. oswaldoi* pudiera estar indicando la presencia de más de una especie dentro del taxón en Venezuela, tal como ha sido señalado por diversos autores. Una situación similar ocurre con *An. nuneztovari*, cuya situación taxonómica tampoco está clara en Venezuela, siendo su criadero tipo en este estudio las charcas. La situación de ambas especies requiere ser investigada con profundidad.
8. Las especies del subgénero *Anopheles* son más frecuentes en los caños y pantanos, mientras que *An. squamifemur*, *Chagasia* sp. y el subgénero *Stethomyia*, mantienen los criaderos tipo caño como los hábitats preferidos y en los cuales se colectan juntas.

9. La relación de la dinámica poblacional de las especies de anofelinos con la precipitación y el nivel de río, es decir el signo y magnitud de la variación estacional, depende la dinámica hídrica del criadero que la especie explote, de tal forma que las especies son afectadas de manera diferencial por estas variables climáticas. Igualmente ocurre con la distribución espacial, pues al estar limitada por la disponibilidad de criaderos, puede incrementarse durante la época de lluvias para algunas especies mientras que para otras no.
10. Dado que en el área de estudio los criaderos principales para *An. marajoara* y *An. darlingi* lo constituyen las charcas de agua estancada producidas de la actividad minera, la densidad poblacional de los vectores en estos criaderos es poco afectada por la lluvia y es bastante estable a lo largo del año, con tendencia al incremento durante los meses transicionales para *An. marajoara* y durante de periodo de lluvias para *An. darlingi*.
11. La supremacía y el éxito de *An. darlingi* como vector en el área de estudio radica en que esta especie explota una gran diversidad de criaderos en la zona, con o sin corriente, lo que le da una gran capacidad de adaptación a los cambios estacionales de la precipitación, garantizando una población más o menos estable a lo largo del año.
12. Los resultados de este trabajo indican que, en general, cuando se analizan todas las especies en conjunto, o individualmente por especie, las densidades de larvas en los criaderos tienden a ser más elevadas

durante la época de menos lluvia, con una drástica disminución al comienzo de las precipitaciones, cuyo efecto es más marcado en los criaderos con corriente.

13. Las características principales que definen los criaderos son la exposición a la luz solar y la dinámica hídrica, de donde se derivan otras características biológicas y físicas preponderantes tales como la presencia de vegetación acuática en el criadero y calidad del agua, cuya variable de expresión principal es el color aparente.
14. Las técnicas de análisis multivariado constituyen una herramienta de gran potencia para analizar las relaciones de las larvas de anofelinos con su hábitat, porque permiten agrupar las especies por tipo de hábitat, según el tipo de criadero, la exposición solar, la presencia o no de vegetación, la dinámica hídrica y el color del agua, lo cual tiene un gran valor predictivo, ya que puede ayudar a revelar la presencia de las especies *a priori* siendo esto de gran importancia en el muestreo de anofelinos y en el control de enfermedades.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESPECIES DE ANOFELINOS EN EL MUNICIPIO SIFONTES

1. Introducción

Según Dale (1999) la dispersión es un concepto relacionado con patrón espacial, que se refiere específicamente a la disposición y arreglo de puntos en un plano. La intrusión humana en ecosistemas naturales y los resultantes cambios ambientales, modifican los nichos establecidos y crean nuevas configuraciones ecológicas propicias para la dispersión y el establecimiento de poblaciones nuevas de mosquitos y para la transmisión de enfermedades. En la epidemiología de la malaria, el efecto de la ecología humana es esencial; el flujo migratorio de personas, la construcción de obras de ingeniería como represas y caminos, la minería, la agricultura y la deforestación, son factores que actúan como moduladores de la distribución y frecuencia de las poblaciones de mosquitos vectores.

Este fenómeno es dramáticamente evidente en la región amazónica, donde hay un ecosistema sometido a una fuerte presión demográfica, cuya manifestación más notoria la constituyen la colonización agrícola, la minera y la deforestación, lo cual promueve la fragmentación y degradación de los bosques (GFW 2002) (estas dos en rojo me faltan). La actividad humana en la selva amazónica ha contribuido notablemente a cambiar el patrón de distribución

espacial y la frecuencia de las poblaciones de mosquitos, y ha tenido un fuerte impacto en la epidemiología de la malaria en la región. Las alteraciones del ecosistema, no solamente provocan cambios en la abundancia, distribución y composición de las especies, sino que, en consecuencia, pueden también alterar su estatus vectorial. Al respecto, Conn et al. (2002) reportan la emergencia de *An. marajoara* como un nuevo vector neo tropical de malaria, en el estado de Amapá, al noreste de Brasil, desplazando en este papel a *An. darlingi* como vector principal en la región. Esto parece ser el resultado de un incremento en la abundancia de *An. marajoara*, debido a alteraciones en el uso de la tierra, provocada por la inmigración humana, y a su comportamiento antropofílico, según concluyen los autores. Algo similar podría estar ocurriendo en el municipio Sifontes del estado Bolívar, en Venezuela, área de estudio de esta propuesta, donde la densidad de *An. marajoara* supera en mucho a la de *An. darlingi*, si bien las tasas de infección de ambas especies son similares (Moreno et al. 2007, 2009). También en este caso, los cambios observados en cuanto a abundancia y estatus vectorial de las especies de anofelinos parecen ser el resultado de la intervención humana; el hombre, a través de la minería y otras actividades económicas practicadas de manera desorganizada, propicia la dispersión y el incremento de la abundancia de especies oportunistas como *An. marajoara* (Moreno et al. 2000).

Acerca del oportunismo mostrado por algunas especies de *Anopheles*, algunos autores sugieren que esto es posible, debido a la capacidad de los vectores de malaria para adaptarse a los cambios ambientales; ellos son

capaces de cambiar sus hábitos, hospederos y preferencias alimentarias, mostrando una gran plasticidad frente a las alteraciones medioambientales (Tadei & Thatcher 2000). Una especie oportunista de particular importancia epidemiológica, reportada recientemente en el municipio Sifontes, es *An. nuneztovari* Gabaldon, 1940, su presencia en este municipio fue reportada por Moreno et al. (2004), luego de ser colectada en criaderos tipo charca y quebrada a pleno sol en focos endémicos de malaria. Debido a que esta especie nunca antes fue colectada en la zona, se piensa que su introducción debe ser de fecha reciente. La presencia de esta especie en la zona, lejos de su distribución geográfica conocida (Rubio-Palis 2000), probablemente haya sido facilitada por la alteración medioambiental provocada por las actividades humanas, lo cual favorece a este tipo de especies oportunistas (Tadei et al. 1998). Este hecho seguramente tendrá graves repercusiones en la eco-epidemiología de la malaria en la zona, dado que *An. nuneztovari* es un vector reconocido en el occidente de Venezuela, norte de Colombia y en el estado de Amapá, Brasil (Gabaldon 1981, Galardo et al. 2007, Rubio-Palis 2000), por lo que habrá que monitorear cuidadosamente mediante el mapeo continuo, su abundancia y dispersión así como su impacto en la morbilidad por malaria.

La relación entre la distribución espacial de anofelinos, las alteraciones del paisaje, la población humana y los casos de malaria, tema central de esta tesis, es un tema ampliamente discutido y que ha sido estudiado por muchos autores, particularmente en Suramérica, debido a la agresiva expansión de la frontera económica en esta región (Charlwood 1996, Guimarães et al. 2004,

Marques 1987, Moreno et al. 2007, Schoeler et al. 2003, Tadei et al. 1998, Vittor et al. 2006, 2009), en este trabajo se intenta profundizar en este aspecto mediante la construcción de mapas de distribución de anofelinos en el municipio Sifontes del estado Bolívar y su relación con los casos de malaria.

2. Materiales y métodos

2.1 Inventario de especies de anofelinos

Entre enero de 2005 y diciembre de 2011, se ejecutó un inventario de especies de anofelinos con un diseño de estudio transversal a nivel de todo el municipio, con el objeto de describir la distribución espacial de los vectores de malaria y su relación con las variables ambientales y la morbilidad malárica en el municipio Sifontes del estado Bolívar. Durante ese lapso se visitaron y muestrearon 57 localidades seleccionadas de acuerdo a su accesibilidad y criterios de prevalencia y persistencia de malaria, definido este último indicador como el número de años consecutivos con malaria (Barrera et al. 1999). En cada localidad se realizaron colectas de larvas de anofelinos mediante la técnica de colecta con cucharón de cono truncado de acuerdo a la metodología descrita por Moreno et al. (2000). Las larvas fueron identificadas hasta nivel de especie *in vivo* mediante la metodología descrita en el Capítulo II de este trabajo. Las colectas fueron acompañadas con el registro de variables ambientales de paisaje y de la caracterización de los criaderos, desde el punto de vista físico y biológico, registrándose los siguientes parámetros: tipo de vegetación circundante, área deforestada alrededor del criadero, número de

casas alrededor del criadero, área del criadero, distancia al bosque, incidencia de luz solar, hidropereodo, flujo del agua, color aparente del agua y cobertura de vegetación hidrófila. La distancia a la casa más cercana fue determinada posteriormente a partir de la información registrada con el GPS. En cada visita se registraron las coordenadas de la localidad y del sitio de colecta mediante un receptor de GPS puesto en datum WGS84.

2.2 Estimación de densidad larvaria

La unidad utilizada para alimentar el SIG fue la densidad de larvas por especie de anofelino por unidad de muestreo. La densidad de larvas de anofelino por criadero fue definida como el número de larvas en treinta cucharonadas, independientemente del número de cucharonadas realizadas en cada criadero. A efectos de visualizar la presencia de las especies, en todos los casos de criaderos positivos, aun cuando la densidad fuera muy baja, todo valor entre cero y uno fue elevado a la unidad, de tal manera que la densidad nunca fuese inferior a una larva por unidad de muestreo. En consecuencia, para cualquier especie de anofelino, esta fue considerada presente en el criadero si al menos una larva fue colectada.

2.3 Elaboración de mapa de cobertura vegetal

El Municipio Sifontes tiene un área de 25.500 Km² correspondiente en su mayor parte a las cuencas hidrográficas de los ríos Cuyuní y Yururará, con elevaciones que no superan los 300 msnm, y cuya vegetación dominante está compuesta fundamentalmente por bosques macrotérmicos de tierras bajas y submesotérmicos de tierras intermedias, combinados con sabanas abiertas y

arbustivas mixtas con chaparrales (CVG EDELCA 1995). Según Hernández (1987), de acuerdo a la topografía y vegetación, el área que ocupa el municipio Sifontes se corresponde con la región fisiográfica de *Sabanas de Guayana*, comprendidas dentro de la cuenca del río Cuyuní, representadas por sabanas cuyas alturas varían entre 200 y 500 msnm, conformadas en un paisaje de penillanura de ligera a modulada ondulación, en la cual pueden distinguirse tres tipos fenológicos: sabanas, llanos cubiertos por selva o bosque tropical y terrenos montañosos. El mapa de cobertura vegetal utilizado en este estudio (Figura 4.1), fue elaborado en la Universidad Central de Venezuela, a partir de una base cartográfica proveniente del Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar” a escala 1:250.000, mapas de vegetación generados por la empresa Técnica Minera C.A. de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG-Tecmin) y el mapa de vegetación de Otto Huber (CVG EDELCA, 1995) combinados con imágenes del municipio del satélite Landsat de los años 2000 y 2001 (Rubio-Palis 2006). Partiendo de esta base se elaboró la cartografía base en formato digital mediante el programa MapInfo 6.5, transformándose al modelo raster con el programa geoespacial de procesamiento de imágenes IDRISI con una resolución tamaño píxel de 125 metros. En este estudio, mediante el programa ArcView (ArcView GIS 3.3 1991-2000) el mapa original de vegetación fue re proyectado y modificado reduciéndose de 51 a 15 categorías de vegetación, a fines de facilitar la descripción de la cobertura vegetal en el municipio y hacer más visible la distribución de las especies de anofelinos.

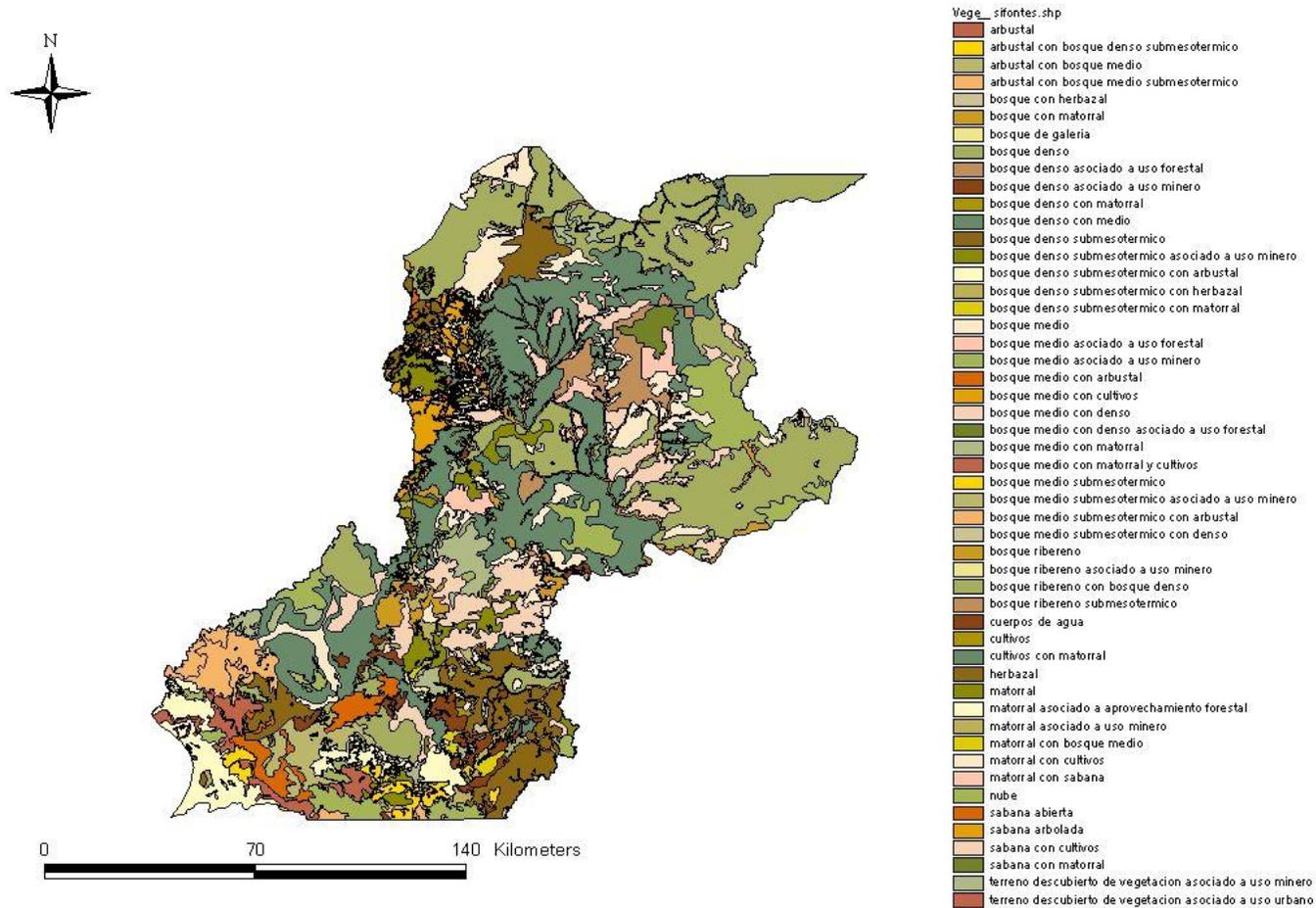


Figura 4.1. Mapa de vegetación original del municipio Sifontes del estado Bolívar con 57 categorías de bosque o cobertura vegetal, (Rubio-Palis 2006).

2.4 Construcción de mapas temáticos de distribución de anofelinos y localidades

A partir del mapa base de vegetación simplificado, descrito anteriormente, se construyeron mapas temáticos de distribución de larvas de anofelinos en el municipio Sifontes para las principales especies. Los puntos geográficos correspondientes a las colectas de larvas de anofelinos fueron integrados en el mapa de vegetación mediante el programa ArcView GIS 3.3, construyéndose capas por especie de anofelino. De la misma forma fue construida una capa de localidades, a la cual se le agregaron las capas de vialidad e hidrografía. En la capa de localidades se incluyeron casi todas las existentes en el municipio Sifontes, extraídas de la data de malaria generada por el Servicio de Vigilancia Epidemiológica del Estado Bolívar, y categorizadas por casos acumulados de malaria en el lapso 2005-2011.

3. Resultados

3.1. Distribución y abundancia de las especies de anofelinos en el microhábitat

Durante el estudio se muestrearon 172 criaderos distribuidos en 87 (50,6%) charcas, 44 (25,6%) lagunas, 28 (16,3%) arroyos o quebradas, 8 (4,7%) líneas de drenaje superficial, 3 (1,7%) pantanos y 2 (1,2%) del tipo bosque inundado. Estos criaderos se corresponden con la tipología descrita en el capítulo II de este trabajo y con la descrita por Rubio-Palis et al. (2010), excepto el criadero bosque inundado, que es un nuevo tipo que se introduce aquí. Estos son criaderos formados por grandes depósitos de agua estancada de profundidad variable y dinámica estacional sobre suelos poco permeables, en las cubetas de decantación de los ríos por el desbordamiento de estos durante la época de lluvias. Son hábitats característicos de bosques ribereños, altos, densos con dosel completo, por lo cual son totalmente sombreados y con abundante aporte de hojarasca proveniente del dosel que los cubre, descritos por Rubio-Palis et al. (2010) con el nombre genérico de *pantanos*.

En la tabla 4.1 se resumen los resultados obtenidos durante el muestreo transversal de criaderos. Entre las especies del género *Anopheles* la más abundante fue *An. triannulatus*, representando un poco más de la mitad de la muestra con 55,7% del total colectado, seguida de *An. oswaldoi* (5,5%) y *An. marajoara* (6,2%), ambas con proporciones similares y muy bajas con respecto a la primera especie. Las otras especies destacables son *An. darlingi* (4,5%), *An. nuneztovari* y *An. punctimacula* con 2,1% cada una, quedando el resto de

las especies con proporciones muy bajas, coincidiendo esta lista con la elaborada durante el estudio longitudinal del capítulo II. De las 11 especies identificadas siete pertenecen al subgénero *Nyssorhynchus* y cuatro al subgénero *Anopheles*, mientras que un número pequeño de larvas pertenecen al subgénero *Stethomyia*. Asimismo, se colectaron durante el estudio 344 (7,1%) larvas de *Chagasia* sp. y 498 (10,3%) larvas no pudieron ser identificadas por diferentes motivos.

En general, las especies de *Anopheles* tienden a ser más abundantes en los criaderos tipo charca y laguna, mientras que las larvas de *Chagasia* y *Stethomyia* fueron colectadas casi exclusivamente en los arroyos. Las especies más ubicuas fueron *An. triannulatus* y *An. oswaldoi*, las cuales fueron colectadas en todos los tipos de criaderos. Asimismo, contando los taxones *Chagasia* y *Stethomyia* dentro del número de especies, los criaderos con mayor diversidad fueron los arroyos, charcas y lagunas, con 12, 11 y 9 especies respectivamente; los otros tres tipos de criadero solo contienen tres y cuatro especies.

Tabla 4.1. Cantidad de larvas de *Anopheles* colectadas por especie y tipo de criadero*

Especie	CHA	LAG	ARR	PAN	LID	BIN	TOTAL
<i>An. triannulatus</i>	1257	1036	151	226	21	2	2693
<i>An. marajoara</i>	168	132	1	0	0	0	301
<i>An. darlingi</i>	183	11	23	0	0	0	217
<i>An. braziliensis</i>	0	42	0	0	0	0	42
<i>An. nuneztovari</i>	79	18	7	0	0	0	104
<i>An. strodei</i>	65	2	2	1	0	0	70
<i>An. oswaldoi</i>	162	72	30	1	28	20	313
<i>An. neomaculipalpus</i>	4	26	11	0	0	0	41
<i>An. punctimacula</i>	67	0	1	0	6	29	103
<i>An. mediopunctatus</i>	1	1	5	0	0	0	7
<i>An. squamifemur</i>	0	0	2	0	0	0	2
<i>Chagasia</i> sp	6	0	338	0	0	0	344
<i>An. (Nyssorhynchus)</i> sp.	23	22	7	0	2	0	54
<i>An. (Anopheles)</i> sp.	18	4	5	0	0	0	27
<i>An. (Stethomyia)</i> sp.	0	0	22	0	0	0	22
No identificados	302	167	19	1	9	0	498
Total	2335	1533	624	229	66	51	4838

*CHA= Charca, LAG = Laguna, ARR = Arroyo, PAN = Pantano, LID = Línea de drenaje, BIN = Bosque inundado

3.2. Mapa de localidades maláricas en el municipio Sifontes

La figura 4.2 muestra el mapa de localidades maláricas en el municipio Sifontes del estado Bolívar, clasificadas por prevalencia, definida como el número de casos de malaria acumulados en los últimos siete años correspondientes al periodo 2005-2011. El municipio se encuentra dividido en tres grandes parroquias representadas por polígonos de colores (Figura 4.2). La mayor de ellas es la parroquia Tumeremo correspondiente al área de la capital Tumeremo y ubicada al norte del territorio, representada por el polígono azul; la parroquia Dalla Costa correspondiente al área del El Dorado, ubicada en la porción central del municipio y representada por el polígono amarillo, y por

último la parroquia San Isidro correspondiente al área de las Claritas, ubicada en la parte sur del municipio y representada por el polígono verde. Asimismo, el municipio es recorrido de norte a sur por la carretera troncal 10 que llega hasta Santa Elena de Uairén en el municipio vecino Gran Sabana, y dos caminos secundarios sin pavimento que conducen uno a la reserva forestal Imataca en dirección este-oeste, en la parroquia Tumeremo, y el otro a la población de San Martín de Turumbán en la frontera con Guyana, en dirección noroeste en parroquia Dalla Costa. Adicionalmente existen en el municipio, una gran cantidad de caminos menores en la selva no representados en el mapa, conocidos como *picas* o *trochas*, que solo pueden ser transitados por vehículos rústicos y que conducen a localidades mineras remotas de difícil acceso. La hidrografía del municipio está formada por tres cuencas: la cuenca del Yuruarí, la cuenca del río Botanamo ubicada en el norte en la parroquia Tumeremo, la cual drena en dirección noroeste hacia el río Cuyuní, y la cuenca del río Cuyuní, la más grande, que abarca las parroquias Dalla Costa y San Isidro, pasando a un lado de la población de El Dorado y que drena en dirección suroeste-este hacia Guyana (Hernández 1987). Estos dos elementos, las vías terrestres representadas por la carretera principal y los caminos, y la red fluvial de la cuenca del Cuyuní-Yuruarí, constituyen las vías de comunicación por la cual se desplazan las personas y a lo largo de cuyos ejes se ubican la mayoría de las localidades. Por tal motivo, la figura 4.2 muestra que las áreas de distribución de la malaria se ubican a lo largo de los principales ejes terrestres y fluviales, a lo largo de la carretera troncal 10 y la parte media y alta del río

Cuyuní y su afluente el río Chicanán, en las parroquias Dalla Costa y de San Isidro. La mayor concentración de localidades con prevalencia elevada está en la parroquia San Isidro, en el área de explotación aurífera conocida como foco de Las Claritas, ubicada entre el carretera y el río Cuyuní arriba (Figura 4.3). El foco de Las Claritas está formado por un grupo de localidades apiñadas en un área relativamente pequeña, de aproximadamente unos 300 km², con una fuerte presencia humana donde se practica intensamente la actividad de minería aurífera artesanal, lo cual ha producido el área continua deforestada más grande en el municipio, acompañada de la destrucción y represamiento de los cursos de agua superficiales, la fragmentación del bosque y la erosión del suelo (Figura 4.4).

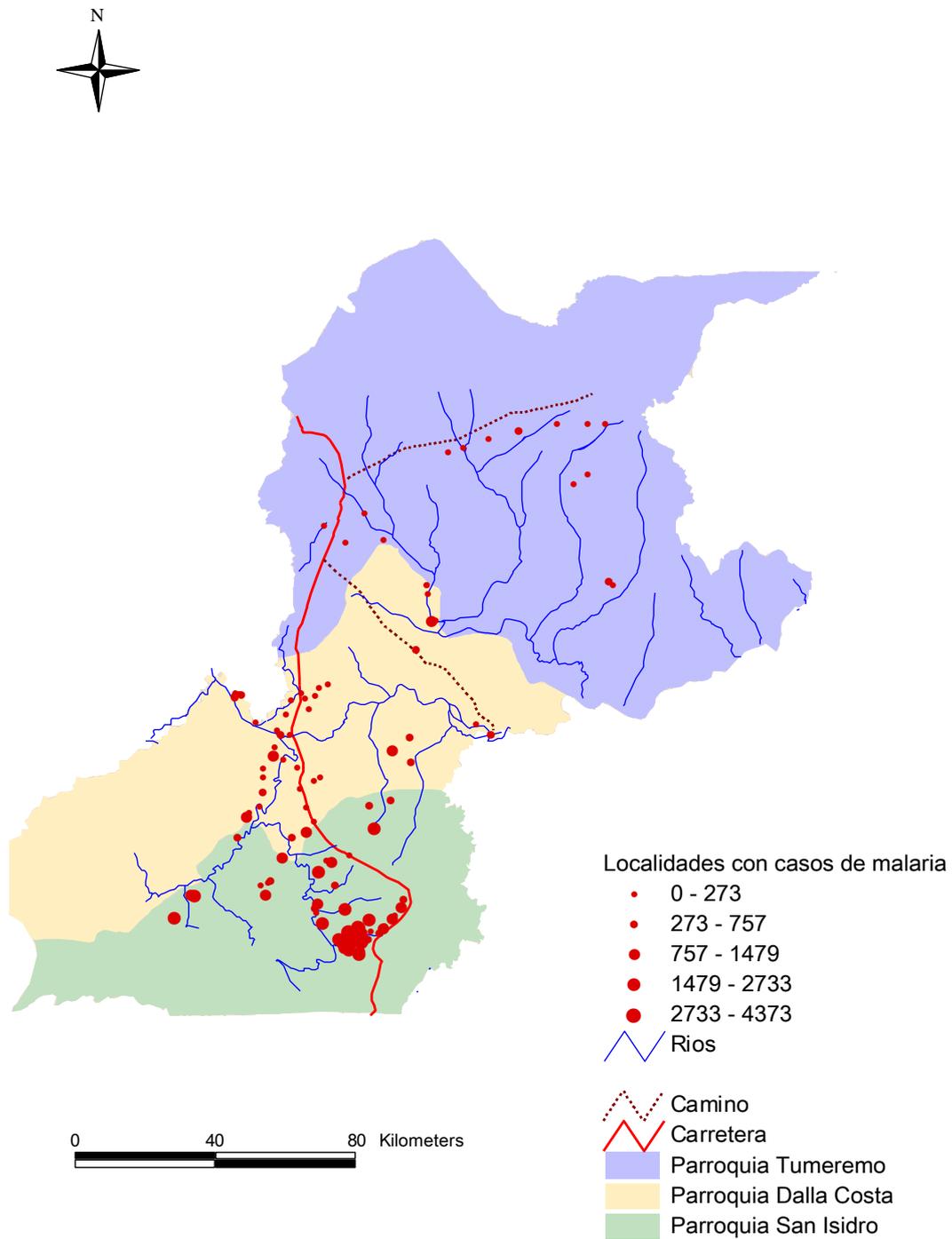


Figura 4.2. Mapa ubicación de localidades del municipio Sifontes del estado Bolívar por parroquia con casos de malaria acumulados en el lapso 2005-2011

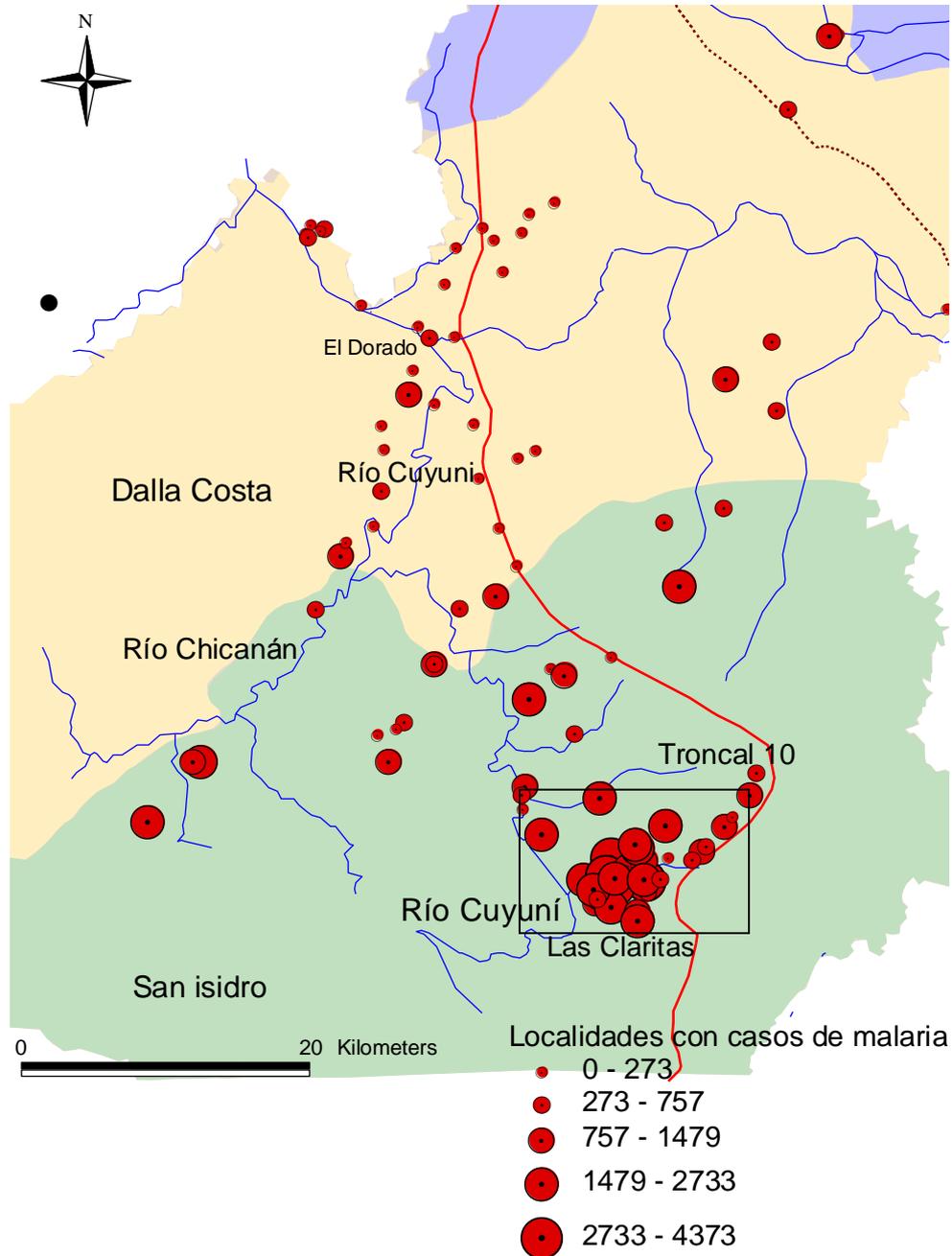


Figura 4.3. Área de explotación aurífera en las cuencas media y alta del río Cuyuní y sus afluentes, en las parroquias Dalla Costa y San Isidro, con casos de malaria acumulados por localidad en el lapso 2005-2011. En el recuadro interior el área de Las Claritas

3.3. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra

Mediante la modificación del mapa original de vegetación mostrado en la figura 4.1 de la sección de materiales y métodos, se produjo un mapa de coberturas dominantes más sencillo y práctico, entre las cuales destacan por su importancia epidemiológica los tipos señalados a continuación: terreno de uso minero, bosque de galería, bosque rivereño, bosque medio, bosque medio submesotérmico, bosque denso, bosque denso submesotérmico, bosque con herbazal-matorral, herbazal-matorral, arbustal, sabanas y cultivos (Figura 4.5). Una descripción más detallada de estos tipos de cobertura vegetal y de su fenología pueden ser hallados en el mapa de vegetación de Otto Huber (CVG EDELCA, 1995)

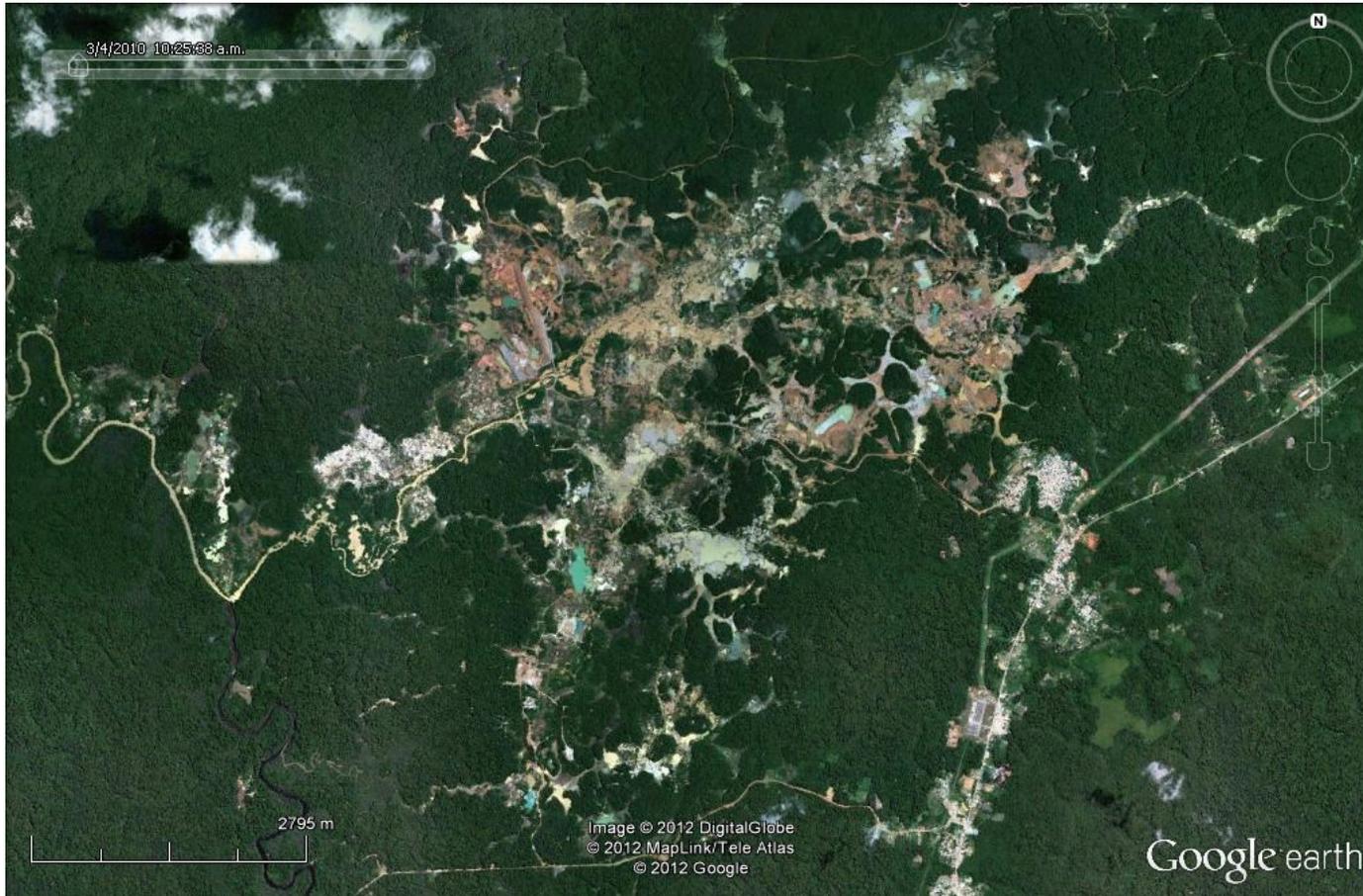


Figura 4.4. Imagen satelital tomada de Google earth, del área de explotación aurífera de Las Claritas señalada en el recuadro de la figura 4, en la cual se aprecia el impacto de la actividad minera en el bosque, el suelo y la hidrología superficial

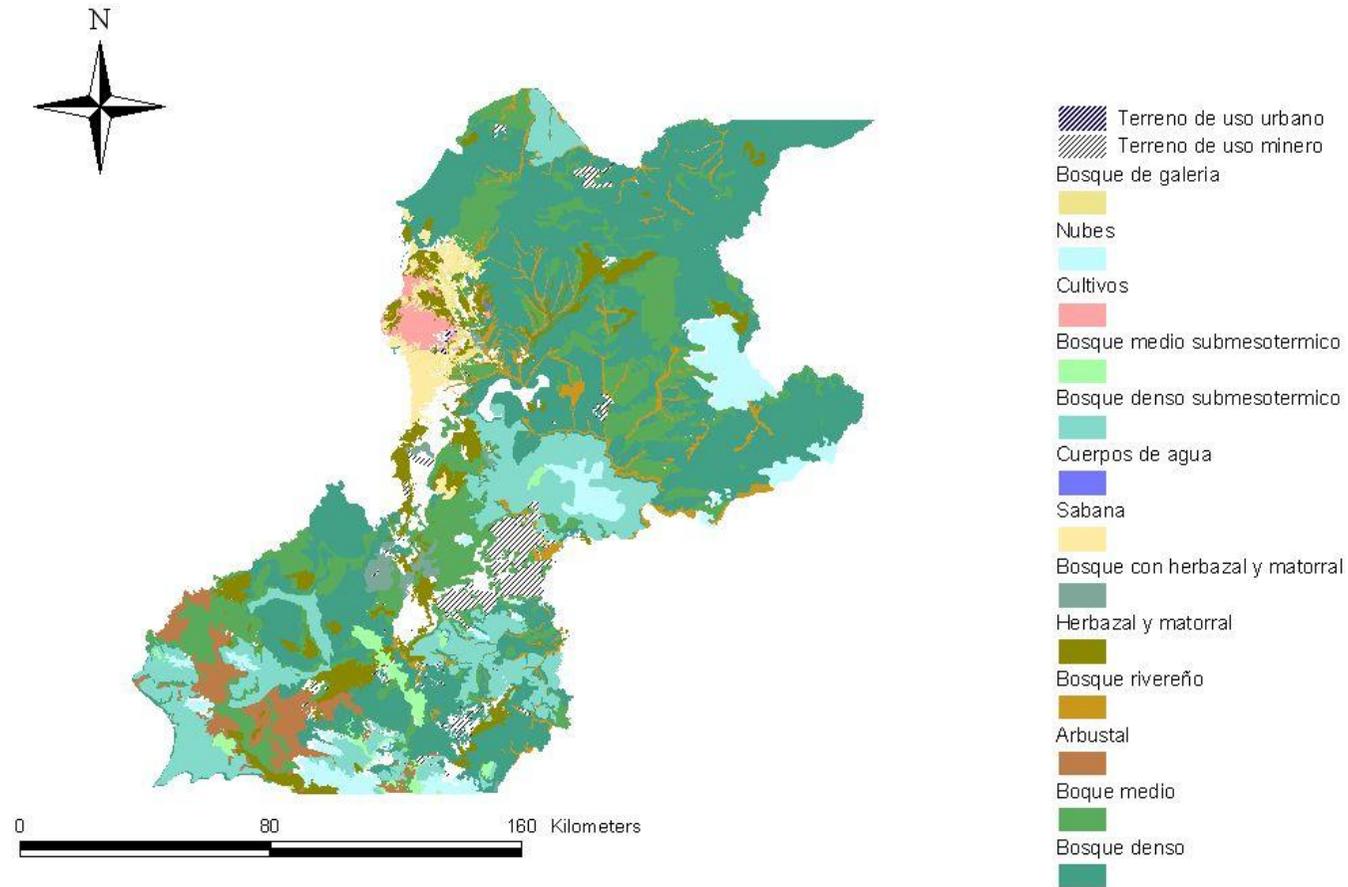


Figura 4.5. Mapa de vegetación del municipio Sifontes del estado Bolívar simplificado a 15 categorías de bosque o cobertura vegetal

3.4. Mapas de distribución de las especies de anofelinos en el municipio

En la figura 4.6 se muestra el mapa de vegetación del municipio Sifontes sobre el cual se han marcado 198 puntos de colecta de larvas de anofelinos, coloreados en rojo y clasificados por densidad de larvas (cantidad larvas / 30 cucharonadas). Este mapa muestra todos los puntos de colecta positivos a cualquier especie muestreados durante el estudio en todo el municipio, describiendo en general un patrón de distribución similar a de las localidades mostradas en la figura 4.2. De acuerdo al criterio de densidad las muestras fueron clasificadas en cinco categorías que van de 1 a 9 larvas en la categoría inferior hasta 66 a 102 larvas en la categoría superior. De manera análoga, la figura 4.7 muestra los 147 puntos de colecta realizados para *An. triannulatus* durante el estudio, también coloreados en rojo y cuyas categorías van de 1 a 6 larvas en la categoría menor hasta 52 a 81 larvas en la categoría mayor. El mapa muestra que esta especie está ampliamente distribuida en todo el municipio, siendo la de mayor ubicuidad y distribución más amplia en comparación con las demás especies. Sin embargo, la mayor densidad de puntos se encuentra en la zona sur correspondiente a las parroquias de San Isidro y Dalla Costa, al sur del río Cuyuní. Asimismo, en cuanto a la distribución por tipo de cobertura, la especie fue más frecuente en las coberturas tipo terreno de uso minero y matorral, encontrándosele también en sabanas, bosque medio y bosque denso. La figura 4.8 corresponde al mapa de distribución espacial de *An. marajoara* en el municipio, con 47 puntos de colectas positivas distribuidas en cinco categorías de densidad que van de 1 a 2 larvas la inferior hasta 21-45 la

superior. Esta especie, a diferencia de *An. triannulatus*, no esta tan ampliamente distribuida en todo el municipio, sino que tiende a estar agrupada en tres conglomerados. El primero de ellos se ubica al norte en el área occidental de la parroquia Tumeremo en cobertura de sabana; otro más pequeño, en el centro del municipio en los alrededores de la población de El Dorado, ocupando coberturas de matorrales y bosque medio submesotérmico; y el más grande al sur, en la parroquia San Isidro sobre terreno de uso minero principalmente, aunque hay una pequeña porción en bosque medio. Igualmente hay un punto disperso de alta densidad en la zona centro oriental del municipio, en la localidad de San Martín de Turumbán, en la frontera con Guyana, en un área muy intervenida de bosque riveroño y matorrales. Es importante destacar que la distribución de esta especie en el municipio coincide con las áreas de mayor densidad de población humana, dominada por sabanas y matorrales, estando ausente en el área noreste, menos poblada dominada por bosque denso y medio.

La distribución espacial del principal vector de malaria del área, *An. darlingi*, se muestra en la figura 4.9. Las densidades de esta especies están agrupadas en cinco categorías que van de 1-2 hasta 23-34 larvas en la categoría superior. El mapa no muestra una amplia distribución para esta especie, por el contrario, su conglomerado de mayor tamaño está restringido al área sur a la parroquia San Isidro, coincidiendo con cobertura de suelo de uso minero y matorrales correspondiente a la mayor área de explotación aurífera en el municipio. Sin embargo, hay un punto de alta densidad ubicado un poco más al norte en zona de

bosque denso, y unos pocos puntos de mediana densidad ubicados en el área central de municipio y en el área noreste en coberturas de bosque medio. Un aspecto a destacar en el mapa de distribución de *An. darlingi* es que la especie definitivamente no está presente en espacios ocupados por cobertura de sabana y suelo descubierto, si bien hay un punto de distribución hacia el suroeste en una cobertura de arbustal. *Anopheles nuneztovari*, cuya distribución espacial se muestra en la figura 4.10, tiene una distribución muy similar a la de *An. marajoara* con un conglomerado principal en el área sur de explotación aurífera, pero con dominancia de matorral en zona limítrofe con bosque denso. Las categorías de densidad para la especie van de 1-2 larvas la inferior hasta 9-21 la más elevada. Los otros puntos menores de distribución, en el centro y norte del municipio, igualmente están en matorrales o en zonas ubicadas entre matorrales y bosque denso o medio, lo cual parece ser una constante para la especie. La figura 4.11 muestra el mapa de distribución de *An. oswaldoi* distribuidos en cinco categorías con rangos similares a las dos anteriores especies que van desde 1-2 la primera hasta 13-21 la última. A diferencia de las anteriores, esta especie está más ampliamente distribuida en todo el municipio y parece tener un comportamiento más ecléctico en cuanto a preferencia de ambientes. Si bien se le encuentra en casi todas las coberturas, sus puntos de elevada densidad indican que la especie muestra predilección por coberturas de tipo bosque denso o medio y matorral, aunque también se le colectó en bosques rivereños.

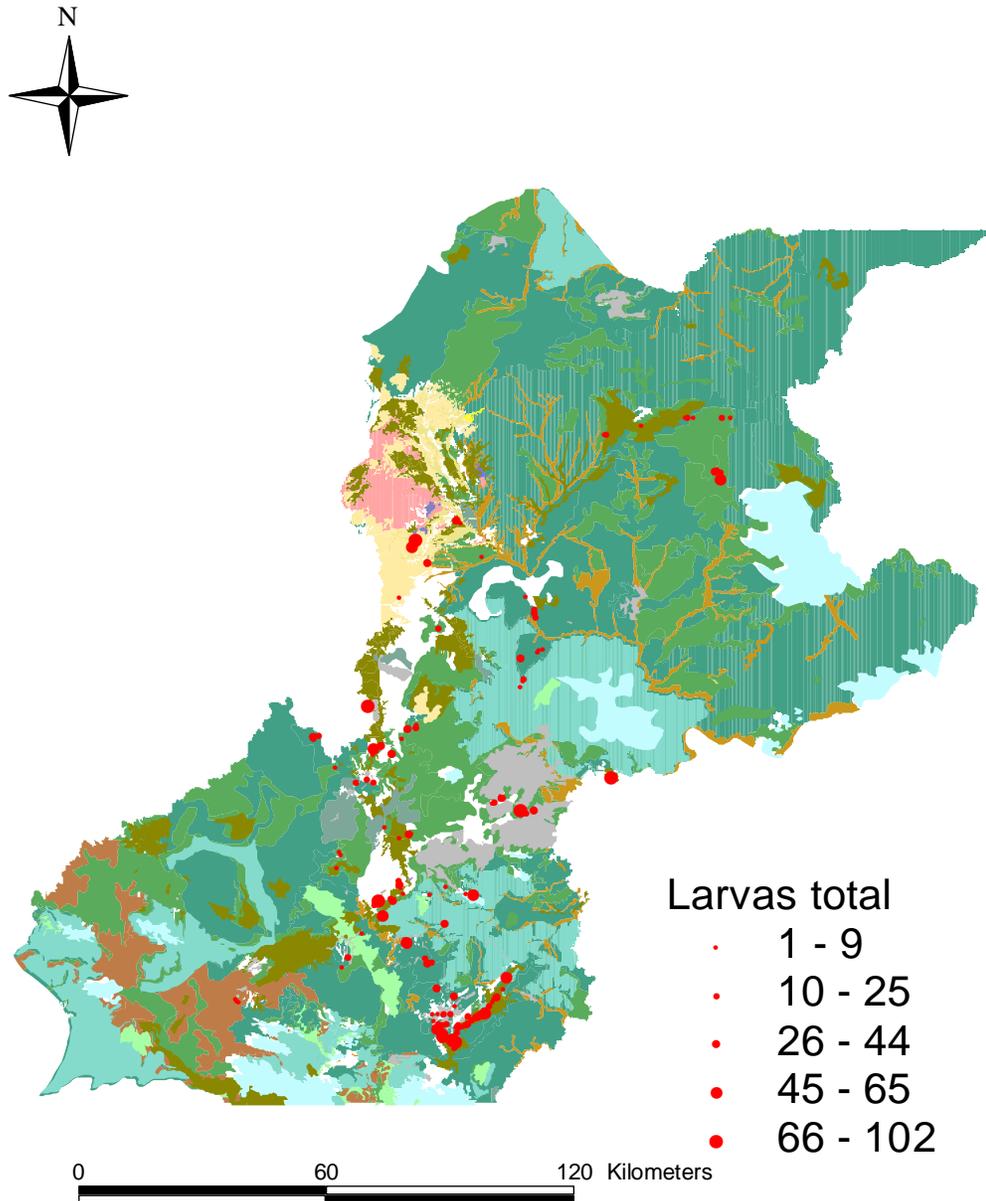


Figura 4.6. Mapa de distribución de las larvas de anofelinos de todas las especies en el municipio Sifontes del estado Bolívar

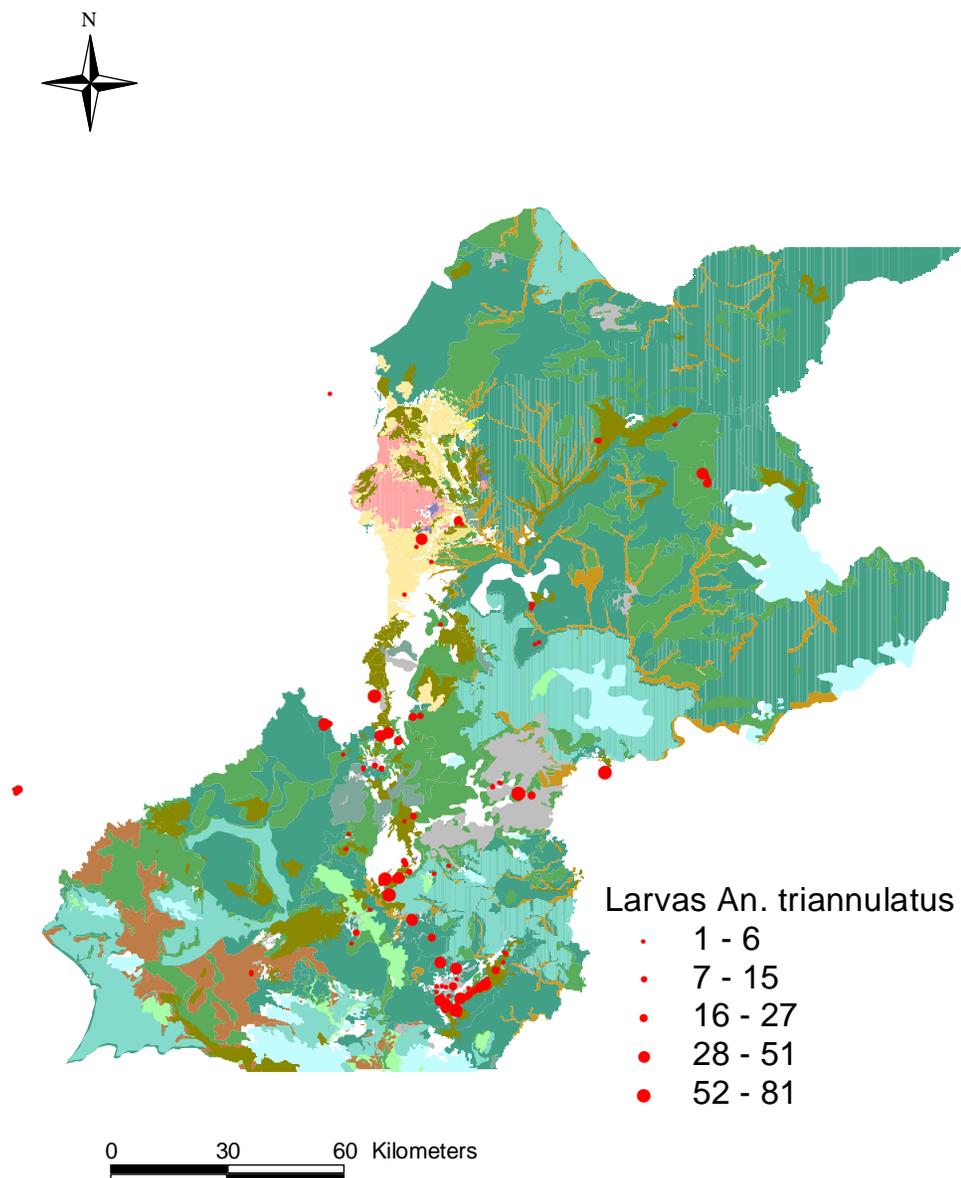


Figura 4.7. Mapa de distribución de larvas de *Anopheles triannulatus* en el municipio Sifontes del estado Bolívar

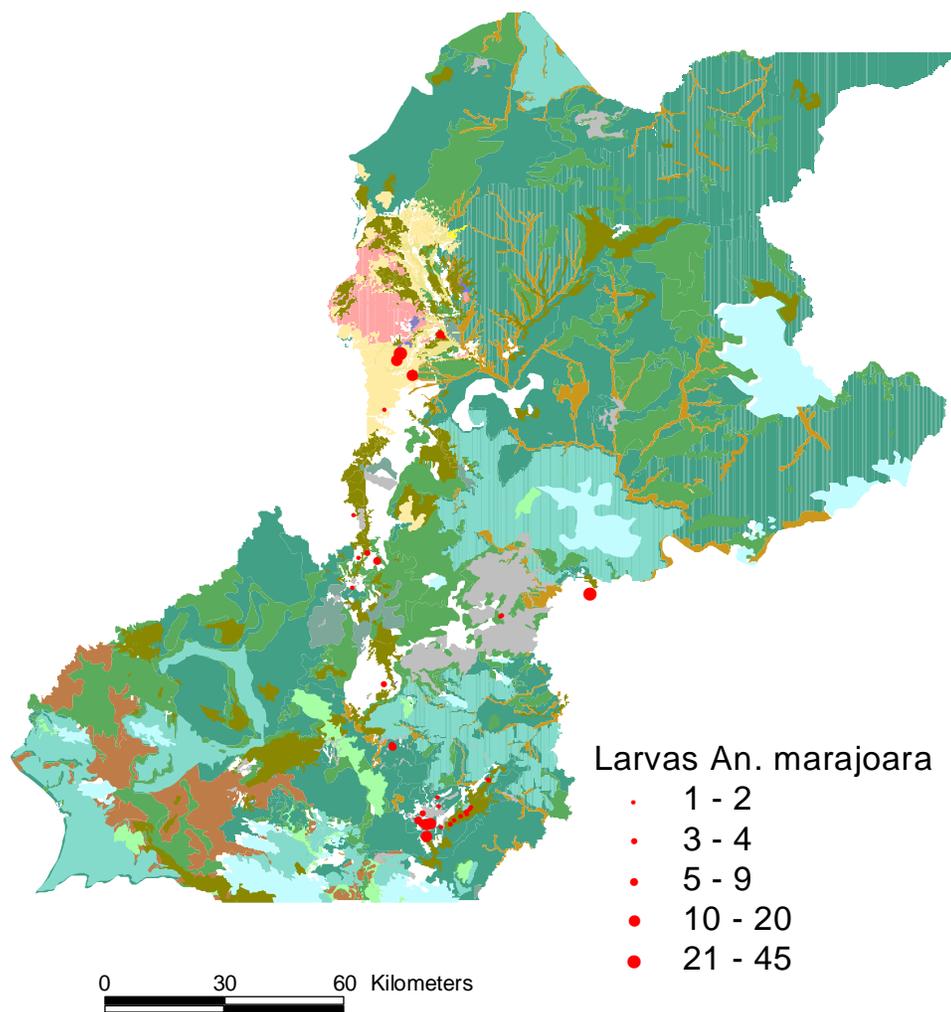


Figura 4.8. Mapa de distribución de larvas de *Anopheles marajoara* en el municipio Sifontes del estado Bolívar

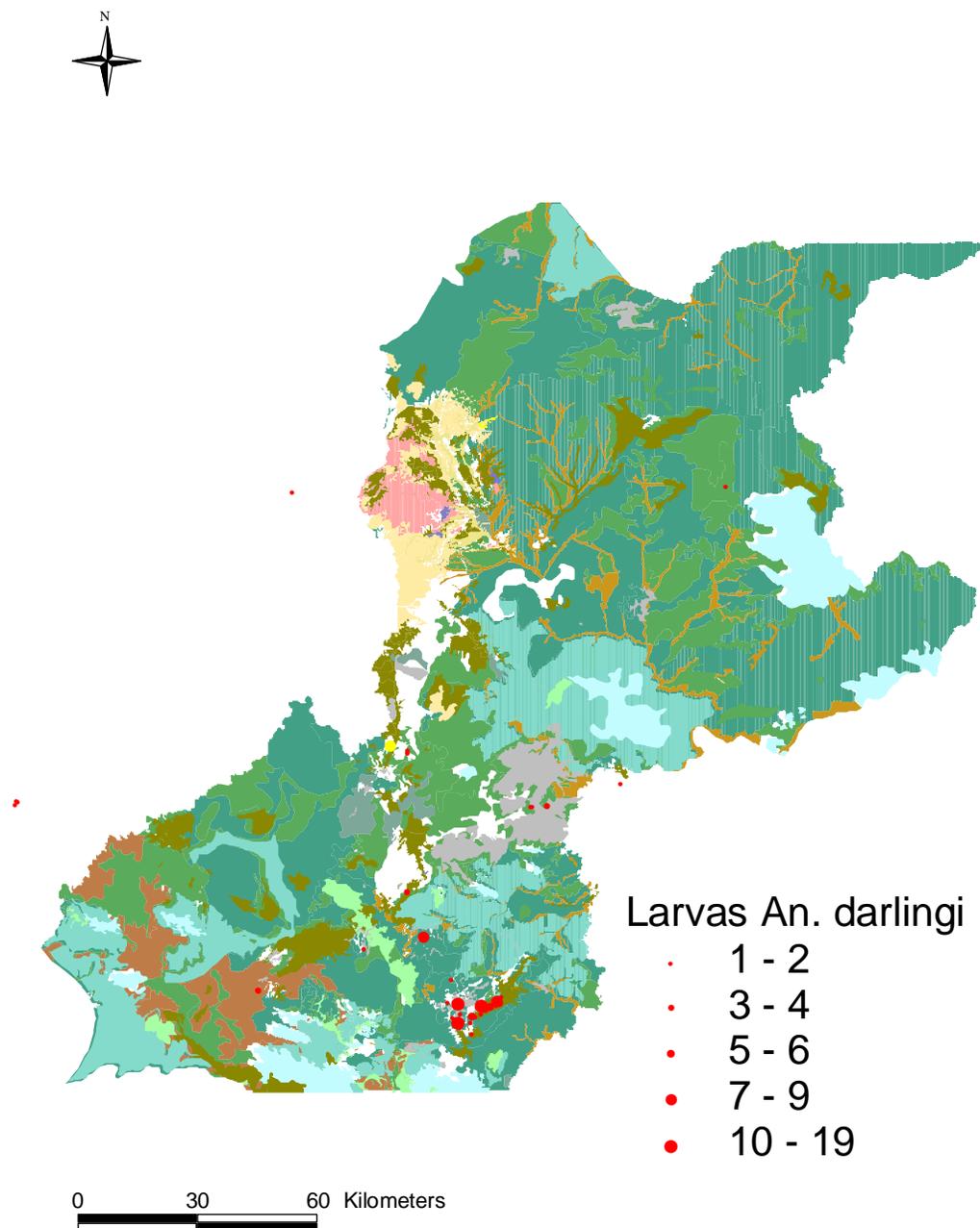


Figura 4.9. Mapa de distribución de larvas de *Anopheles darlingi* en el municipio Sifontes del estado Bolívar

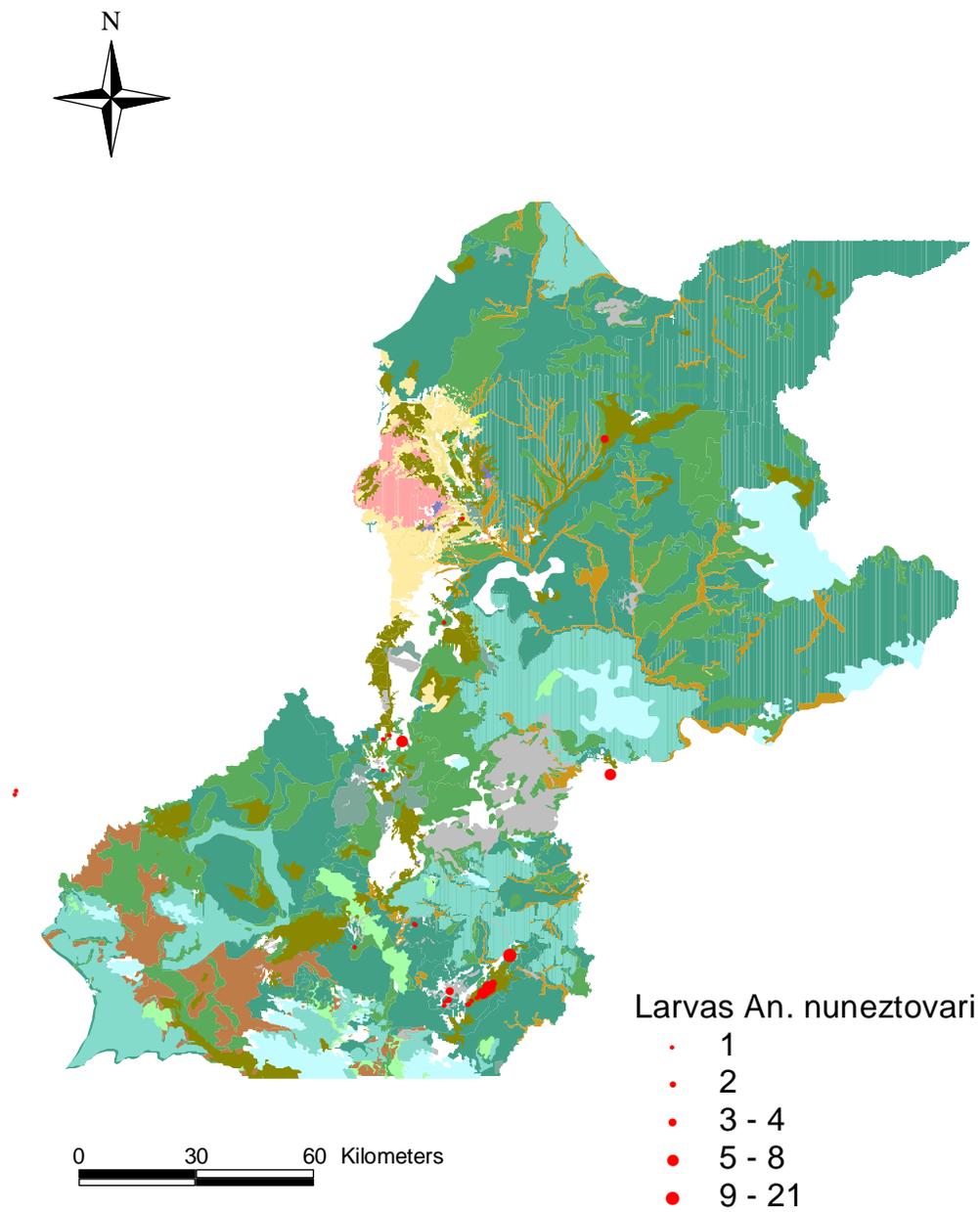


Figura 4.10. Mapa de distribución de larvas de *Anopheles nuneztovari* en el municipio Sifontes del estado Bolívar

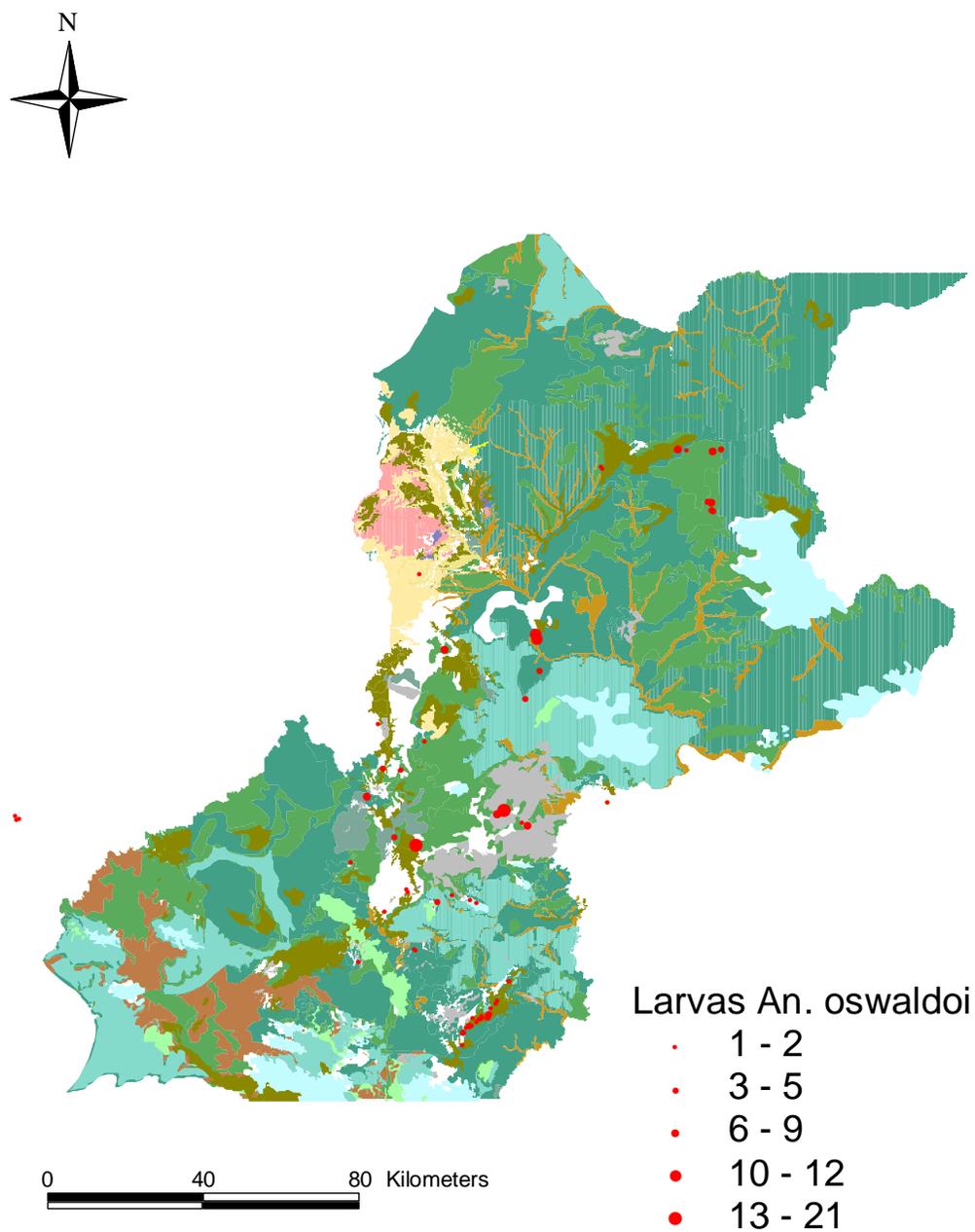


Figura 4.11. Mapa de distribución de larvas de *Anopheles oswaldoi* en el municipio Sifontes del estado Bolívar

4. Discusión

Es un hecho bien documentado que la distribución espacial y la abundancia de los anofelinos está limitada por la disponibilidad de criaderos, cuya distribución, frecuencia, tamaño y características están determinados por las variables ambientales reunidas en el paisaje dominante. En consecuencia, elementos como la topografía, la hidrografía, el tipo de cobertura vegetal y la presencia humana son determinantes para la presencia y distribución espacial de especies de mosquitos (Monteiro et al. 2011, Rosa-Freitas et al. 2007, Sinka et al. 2010). En este trabajo, datos geográficos de criaderos de anofelinos fueron proyectados en mapas de vegetación del municipio Sifontes para producir mapas de distribución espacial de las principales especies vectores de malaria en el municipio, y estudiar la relación de algunas variables de paisaje con la distribución y abundancia de estas especies. Enfoques parecidos han sido utilizados previamente para estudiar la distribución espacial de los anofelinos y relación con las variables ambientales (Ageep et al. 2009, Cailly et al. 2011, Capinha et al. 2009, Dambach et al. 2012, Foley et al. 2010).

La especie más abundante y ampliamente distribuida en el municipio Sifontes es *An. triannulatus*, tal como lo demuestran los mapas confirmando los reportes previos de esta especie en el municipio (Moreno et al. 2000). Si bien esta especie no es considerada un vector de malaria en esta zona del país, es muy importante desde el punto de vista de su abundancia y ubicuidad tal como lo corrobora su

mapa de distribución. Este hecho debe ser considerado a fin de mantener una estrecha vigilancia sobre esta especie, la cual ha sido conseguida infectada naturalmente con parásitos maláricos en Rondônia y Amapá, Brasil (De Oliveira-Ferreira et al. 1990, Galardo et al. 2007, Sinka et al. 2010). *Anopheles marajoara*, vector principal de malaria confirmado para este foco endémico y un vector dominante en el continente americano (Moreno et al. 2009, Sinka et al. 2010), por el contrario, muestra una distribución constreñida, circunscrita a pequeñas áreas descubiertas asociadas a sabanas, herbazales y matorrales, lo cual coincide con los hábitats previamente descritos para esta especie, siendo esta una de las especies más favorecidas por la deforestación, la vegetación secundaria y la sustitución de hábitats (Moreno et al. 2000, Sinka et al. 2010). Esta es una especie oportunista que, si bien su hábitat característico lo constituyen las sabanas, aprovecha muy bien los espacios abiertos en el bosque que favorecen la proliferación de criaderos ricos en macrofitas, en detrimento de otras especies como *An. darlingi* (Conn et al. 2002, Moreno et al. 2000). Una situación similar ocurre con *An. nuneztovari s.l.*, salvando la controversia acerca de la identidad de especie de este complejo que pudiera estar presente en esta zona de Venezuela (Calado et al. 2008, Sinka et al. 2010). Esta es una especie emergente en el área de estudio y comprobado vector de malaria en el occidente de Venezuela, capaz de colonizar y establecerse en ambiente alterados, que parece mostrar predilección por charcas estancadas de aguas turbias parcialmente soleadas (Moreno et al. 2004, Rubio-Palis et al. 1992, Sinka et al. 2010). Su distribución

espacial en el municipio se solapa con la de *An. marajoara*, no obstante a diferencia de esta, *An. nuneztovari* s.l. también puede ser eventualmente encontrado en áreas de bosque medio en zonas de transición, compartiendo hábitat con *An. darlingi*. La otra especie importante, en cuanto a su frecuencia y abundancia en el municipio Sifontes es *An. oswaldoi* s.l. Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en todo el municipio y se le colectó fundamentalmente en áreas de bosque medio y denso, aunque también se le puede hallar en áreas de transición asociada a matorrales y herbazales. Al igual que ocurre con *An. nuneztovari* s.l., la identidad de la especie que está presente en el sur de Venezuela no está clara, la variedad de hábitat en la que puede ser encontrada sugiere que pudiera haber por lo menos dos especies, una que habita en áreas de bosque cubierto y otra en el borde de áreas deforestadas.

En cuanto a la distribución de *An. darlingi*, el principal vector de malaria en el área de estudio (Moreno et al. 2007, 2009), a pesar de haber sido descrita como una especie rivereña confinada a áreas de boques bajos (Sinka et al. 2010), los mapas parecen confirmar su tendencia a ubicarse en zonas de transición entre el bosque y las áreas deforestadas. Al respecto, Monteiro et al. (2011) han descrito una estrecha relación entre la distribución espacial de anofelinos, las alteraciones del paisaje, la población humana y los casos de malaria. Según Monteiro et al. (2011), en Roraima, Brasil, las larvas de *An. darlingi* tendían a formar conglomerados en zonas de transición entre áreas deforestadas y cubiertas con bosque, en proximidad a los asentamientos humanos que favorecían la presencia

de criaderos de la especie, lo que los condujo a proponer el modelo de borde, *forest fringes*, para explicar la presencia de *An. darlingi*, en el cual la deforestación se combinan con la presencia de humanos y disponibilidad de criaderos para crear nuevos hábitats para la especie en el límite entre el bosque y las áreas deforestadas. Según Medina et al. (2011), el rango de vegetación conveniente para *An. darlingi*, se corresponde con vegetación natural poco densa, como bosques ralo, sabanas arbustivas y herbazales, o áreas modificadas por actividades antropicas como la vegetación sucesional, bosques secundarios y áreas agrícolas activas. De acuerdo a lo observado en el municipio Sifontes, la segunda categoría de vegetación modificada se adecua más al hábitat probable de la especie. La presencia de esta especie en áreas intervenidas con fuertes modificaciones al paisaje ha sido reportada previamente en el municipio Sifontes del estado Bolívar, (Moreno et al. 2000); no obstante, la variedad de hábitats asignados a esta especie por diferentes autores en otras regiones del país revelan su carácter ecléctico y capacidad de adaptación, lo cual requiere ser investigado dada su importancia vectorial (Rejmankova et al. 1999, Rubio-Palis et al. 2010)

Un aspecto que destaca en este trabajo es que la distribución espacial de los anofelinos, al igual que la malaria, están estrechamente ligadas a la distribución de los asentamientos humanos y vías de penetración, lo cual si bien probablemente sea un efecto de la falta de aleatoriedad en el muestreo, también constituye un factor de riesgo puesto que se ha demostrado que en el estado Sucre, la cercanía de los criaderos a las viviendas son factores determinantes del

agrupamiento de focos de infección (Grillet et al. 2009). Asimismo, también las vías de penetración, tanto ejes viales como redes hidrológicas, tienen gran potencial para dispersar la infección, si bien en el estado Sucre resultaron ser malos predictores de malaria (Delgado et al. 2003, Grillet et al. 2010). En la región del río Caura en el estado Bolívar, los corredores rivereños están vinculados con la dispersión de la malaria en forma dual, al servir como vías de comunicación y área de criaderos (Medina et al. 2011). Una situación parecida ocurre en el municipio Sifontes, donde los focos calientes de malaria se distribuyen principalmente a lo largo de la carretera principal y del eje fluvial formado por el río Cuyuní, siendo que la concentración más alta de criaderos de *An. darlingi* fue mapeada a lo largo de la carretera, donde las charcas reúnen las condiciones bióticas y ecológicas ideales para la reproducción de esta especie.

Asimismo, en el área de estudio la prevalencia de malaria es mayor en zonas de gran concentración humana, debido en parte a que la presencia de grandes cantidades de personas en un área reducida aumenta la atraktividad para los anofelinos (Ernst et al. 2006). Simultáneamente, estas áreas han sido sometidas a una fuerte intervención cuya principal manifestación es la deforestación intensiva y la modificación de la hidrología superficial del terreno, lo cual favorece el hábitat propicio, tales como charcas expuestas al sol favorables para *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, y áreas de transición, bosque-área desnuda, favorables para *An. darlingi*. Estas zonas de expansión y frontera económica dentro del bosque, han sido denominadas zonas de malaria de frontera

o *frontier malaria*, un estrato muy común en Suramérica (Marques 1987). La asociación positiva entre la malaria y la concentración de personas ya ha sido reportada en Venezuela; en el estado Sucre, pese a que es una zona eco-epidemiológicamente muy diferente al municipio Sifontes del estado Bolívar, tanto Barrera et al. (1998, 1999) como Delgado et al. (2003) encontraron que los patrones de distribución espacial de la malaria y la persistencia también estaban positivamente asociados con la presencia de criaderos permanentes de *An. aquasalis* y el tamaño de población. En este trabajo, del total de localidades reportadas con malaria en el mapa del municipio Sifontes, solamente unas pocas muestran una elevada prevalencia a esta enfermedad, las cuales tienden a estar concentradas en áreas muy pequeñas, demográficamente muy densas y fuertemente intervenidas con una elevada presencia de criaderos de anofelinos, mientras que en la mayoría la prevalencia es muy baja y la casuística discontinua, indicando que los casos no son autóctonos y por lo tanto la persistencia es baja. Desde esta perspectiva, la distribución de la malaria en el municipio es bastante heterogénea, sugiriendo que a pequeña escala el riesgo de malaria varía ampliamente, pudiendo ser muy elevado en los puntos de concentración, lo cual demuestra la variabilidad de la relación entre la malaria y los factores ambientales a través del espacio (Grillet et al. 2010). Esta heterogeneidad en la distribución espacial de la malaria, cuya característica común a toda el área es el agrupamiento en pequeñas localidades, también ha sido observada en la Amazonia brasileña, sugiriéndose que el patrón de transmisión estaba asociado a

los hábitats naturales y sociales (Atanaka et al. 2007; Caldas et al. 2006, 2007; da Silva et al. 2010)

El área de Las Claritas, mostrada en las figuras 4 y 5, por su tamaño y características se ajusta a la definición de punto caliente, y constituye uno de los principales focos de transmisión activa de malaria en el municipio Sifontes, definidos éstos como pequeñas áreas donde las características del paisaje, los atributos socioeconómicos y condiciones ecológicas posibilitan una intensa transmisión (Barrera et al. 1999, Bejon et al. 2010, Ernst et al. 2006, Grillet et al. 2010), y que pudiera estar sirviendo de foco de exportación de casos a otras localidades, tal como ha sido descrito para el estado Sucre (Barrera et al. 1998). Un aspecto que hay que estudiar con mayor profundidad en esta zona a nivel de localidad, es la relación espacial entre los criaderos de anofelinos y los casos de malaria, pues en este trabajo el enfoque fue hecho a nivel de municipio, es decir a nivel de paisaje. Es necesario cuantificar la distancia crítica entre el criadero y la vivienda humana, pues según Barrera et al. (1998), la distribución espacial de la malaria está altamente relacionada con la distancia a los criaderos, la cual puede ser de apenas unos cientos de metros. Dado que el rango de dispersión de los mosquitos vectores por lo general se reduce a uno o dos kilómetros cuando mucho, es necesario identificar la transmisión a escala de puntos calientes, para poder tener impacto con las medidas de control (Bejon et al. 2010). Para el caso de los focos calientes de malaria en el municipio Sifontes, esta distancia podría ser solo de unas decenas de metros, dada la elevada concentración de viviendas y

criaderos en pequeños claros en el bosque y la dependencia de las personas de las fuentes de agua para el trabajo y para el consumo humano, cuya profusión y cercanía a las viviendas incrementa el contacto hombre-vector. La capacidad de dispersión de los vectores es crítica en la transmisión de la malaria, en este sentido, Grillet et al. (2009, 2010) determinaron que los criaderos de *An. aquasalis* existentes dentro del radio de un kilómetro, era altamente predictivo del riesgo a malaria en Sucre. Si bien el rango de vuelo potencial de las especies de anofelinos vectores en el área de estudio es desconocido, el solapamiento espacial en la distribución de los casos de malaria y los criaderos de mosquitos, sumado a la fragmentación del paisaje, deberían reducir el rango efectivo de vuelo de los mosquitos a unos pocos cientos de metros, lo cual incrementaría las posibilidades de transmisión de malaria. Es importante aclarar la importancia de la distancia de los criaderos de anofelinos a las viviendas humanas, pues esto permitiría evaluar la factibilidad de medidas de control basadas en la aplicación selectiva de biolarvicidas.

Otro aspecto determinante en la dinámica de la transmisión de malaria en el foco es el factor socioeconómico y demográfico, pues estas concentraciones de población humana son provocadas por la actividad de minería aurífera, de donde se deriva una bien conocida y estrecha relación entre la producción de oro y los casos de malaria, que sin embargo requiere ser descrita y cuantificada con mayor precisión. Es necesario incorporar a los mapas, capas demográficas construidas con censos de población y vivienda, lo cual permitiría evaluar la incidencia de

malaria, además de la prevalencia y la persistencia; además es necesario determinar si en el área de estudio, como en el estado Sucre, existen umbrales de población humana por debajo de los cuales se interrumpe la transmisión (Grillet et al. 2010).

En general la información que se presenta en este trabajo, se centró en la producción de mapas temáticos de distribución geográfica de las especies de anofelinos vectores y localidades con malaria en el área de estudio. La colocación de puntos de colecta de mosquitos sobre mapas de distribución, constituye un primer e imprescindible paso en la comprensión de la distribución espacial de los mosquitos, la elaboración de modelos de distribución de especies y de adecuabilidad de hábitats (Foley et al. 2009, 2010). La información de colecta contenida en estos mapas también puede ser utilizada para generar modelos de nicho ecológico y predecir la distribución geográfica de las especies de anofelinos (Rosa-Freitas et al. 2007). La caracterización espacial y temporal de la endemia es fundamental en el diseño de los planes de control, la necesidad de basar las estrategias en el análisis espacial para aumentar la eficiencia ha sido bien documentada, afirmándose que la focalización de las actividades de control en los puntos de alta transmisión tiene el potencial para reducir la malaria significativamente en toda el área endémica (Caldas et al. 2007, Ernst et al. 2006, Grillet et al. 2010). Lamentablemente, en este caso, la carencia de aleatoriedad en la data debido al diseño constreñido del muestreo, dificultó la implementación de análisis espaciales más profundos para evaluar la variación en la relación entre la

presencia de anofelinos, malaria y variables ambientales, e inferir el riesgo asociado a la distribución espacial de los anofelinos. A pesar de ello, dada su naturaleza, puede considerarse que los mapas básicos de distribución de anofelinos y casos de malaria generados por esta investigación, previamente inexistentes, constituyen en sí mismos mapas de riesgo y son el fundamento básico para la construcción del sistema de información geográfica de malaria en el estado Bolívar, así como para el diseño de estrategias de control basadas en el análisis espacial de la enfermedad. En todo caso, la utilidad de un mapa de riesgo no debe ser medida por su nivel de complejidad, sino por su utilidad para identificar vacíos de conocimiento, orientar las estrategias de control y evaluar su potencialidad (Kitron 2000). Los mapas generados en esta investigación cumplen con estos requerimientos, siendo ese el principal aporte de este trabajo.

5. Conclusiones

1. Existen un gradiente entre las especies en cuanto al tipo de cobertura vegetal dominante en el cual se distribuyen, que van desde el suelo desnudo, sabanas y matorrales para *An. triannulatus*, *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, hasta el bosque medio y denso para *An. oswaldoi*.
2. *Anopheles darlingi* parece preferir zonas de transición entre el bosque y zonas deforestadas, confirmando una tendencia hacia la adaptación a áreas intervenidas, que ya ha sido descrita en Suramérica.
3. La distribución espacial de los anofelinos en este estudio parece estar estrechamente ligada a la distribución de los asentamientos humanos y vías de penetración terrestre y fluvial, lo cual puede ser un efecto del muestreo, por lo cual hay que corroborar con estudios aleatorios de distribución espacial posteriores para evidenciar un patrón de distribución más realista.
4. En el área de estudio la prevalencia de malaria es mayor en zonas de gran concentración humana, que han sido sometidas a una fuerte intervención cuya principal manifestación es la deforestación intensiva y la modificación de la hidrología superficial del terreno, lo cual favorece el hábitat propicio para la cría de anofelinos.
5. Un aspecto importante en la micro-epidemiología de la malaria en el municipio Sifontes que debe ser estudiado con mayor profundidad, es la relación espacial entre los casos y los criaderos de anofelinos, cuya

distancia crítica en este caso debe ser de pocas decenas de metros, dadas las características demográficas de las minas y la estrecha relación del hombre con las fuentes de agua, indispensable para el trabajo y el consumo humano.

6. El mapeo de localidades con atributos demográficos y de morbilidad por malaria, conjuntamente con los criaderos de anofelinos, permite la identificación de puntos calientes de transmisión, sobre los cuales priorizar acciones de control de gran impacto.
7. A pesar de que las limitaciones en el diseño de la investigación dificultaron la ejecución de análisis espaciales más profundos para evaluar el riesgo asociado a la presencia de anofelinos, las distribuciones generadas aquí constituyen mapas de riesgo en sí mismos y son la base para construir un sistema de información geográfica de malaria en el estado Bolívar.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Si bien los resultados del estudio de la relación de la malaria con el clima en el municipio Sifontes del estado Bolívar, indican que algunas variables climáticas tales como la humedad relativa y el nivel del río son factores importante en la variabilidad de la malaria en esta área endémica, también sugieren que el clima por si solo no es suficiente para explicar la variabilidad de la casuística, pues variables inherentes al comportamiento humano, las alteraciones al paisaje de origen antrópico, así como otras variables ambientales deben ser incorporadas.
2. Las variables ambientales inherentes a los criaderos de anofelinos, tales como hidrología superficial del área, tipo y dinámica hídrica del criadero, vegetación y luz solar, en interacción con el clima, fundamentalmente con la lluvia, son factores clave en las variaciones de la distribución temporal de las poblaciones de anofelinos, en una relación especie-hábitat altamente específica. Por lo tanto, es de primordial importancia para el control, profundizar en el conocimiento de la ecología de las principales especies vectoras de malaria.
3. Este estudio demuestra que la distribución espacial de las especies de anofelino a escala de paisaje, así como su abundancia, está estrechamente ligada a las características del paisaje, fundamentalmente al tipo de vegetación dominante y el uso de la tierra, las cuales a su vez son una

función de la actividad humana. De tal forma, los mapas de distribución de anofelinos muestran como la alteración del suelo y de la hidrología superficial favorecen la distribución de especies como *Anopheles darlingi*, mientras que la deforestación propicia espacios para especies oportunistas como *An. marajoara* y *An. nuneztovari*, favoreciendo el contacto hombre-vector e incrementando la transmisión de malaria.

4. El estudio de la eco-epidemiología de la malaria en esta compleja área endémica, donde interactúan simultáneamente factores biológicos, climáticos, ambientales y humanos, demanda la elaboración de modelos integrales que incorporen todas estas variables. Se considera que el presente estudio constituye un precedente importante en la implementación de tales modelos.

RECOMENDACIONES

1. Continuar y profundizar el estudio de la ecología de los anofelinos vectores de malaria en el municipio Sifontes del estado Bolívar, y su relación con las variables climáticas y ambientales, así como el efecto de las actividades humanas en este aspecto.
2. Continuar con el monitoreo e inventario de las especies de anofelinos en el área de estudio, para la alimentación de los mapas de distribución espacial generados con este estudio, y la construcción e implementación de un sistema de información geográfica en malaria, el cual debe ser la base de los sistemas de vigilancia epidemiológica y entomológica en la región.
3. Desarrollar un enfoque multidisciplinario para el estudio de la epidemiología de la malaria en el área, que incorpore las variables humanas al estudio de este problema y permita desarrollar modelos integrales que expliquen satisfactoriamente la variabilidad de la endemia en el área de estudio y permita la elaboración de planes de control eficientes.
4. En concordancia con lo anterior, desarrollar planes de control de la enfermedad intersectoriales, que involucren otras instancias del estado y la sociedad que tienen que ver con los componentes económico, humano y ambiental, fundamentales en la situación de la malaria en el municipio.

BIBLIOGRAFIA

- ABELLANA R., ASCASO C., APONTE J., SAUTE F., NHALUNGO D., DELINO A. & ALONSO P. (2008). Spatio-seasonal modeling of the incidence rate of malaria in Mozambique. *Malaria Journal*, 7:228.
- ACHE A.A. (1998). Situación actual de la malaria en Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. San. Amb.*, 38:68-72.
- ACHEE N.L., GRIECO J.P., REJMANKOVA E., ANDRE R.G., VANZIEL E., POLANCO J. et al. (2006). Biting pattern and seasonal densities of *Anopheles* mosquitoes in the Cayo District, Belize, Central America with emphasis on *An. darlingi*. *J. Vector Ecology*, 31:45-57.
- AGEEP T.B., COX J., HASSAN M.M., KNOLS B.G.J., BENEDICT M.Q., MALCOLM C.A. et al. (2009). Spatial and temporal distribution of the malaria mosquito *Anopheles arabiensis* in northern Sudan: influence of environmental factors and implications for vector control. *Malaria Journal*, 8:123 doi: 10.1186/1475-2875-8-123.
- ALFONZO D., GRILLET M.E., LIRIA J., NAVARRO J-C. WEAVER S.C., BARRERA R. (2005). Ecological characterization of aquatic hábitats os mosquitoes (Diptera: Culicidae) in enzootic foci of Venezuelan equine encephalitis virus in Western Venezuela. *J. Med. Entomol*, 42:278.284.
- ARCVIEW GIS 3.3 (1991-2000). Environmental Systems Research Institute Inc.

- ATANAKA-SANTOS M., SOUZA-SANTOS R., CZERESNIA D. (2007). Spatial analysis for stratification of priority malaria control areas, Mato Grosso State, Brazil. *Cad. Saúde Pública*, 23:1099-1112.
- BARRERA R., GRILLET M.A., RANGEL Y., BERTI J. & ACHE A. (1998). Estudio eco-epidemiológico de la reintroducción de la malaria en el nororiente de Venezuela mediante Sistema de Información Geográfica y Sensores remotos. *Bol. Dir. Malariol. San Amb.*, 38:14-30.
- BARRERA R., GRILLET M.E., RANGEL Y., BERTI J., ACHE A. (1999) Temporal and spatial patterns of malaria reinfection in northeastern Venezuela. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 61:784–790.
- BECK L.R., LOBITZ B.M., WOOD B.L. (2000). Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerging Infectious Diseases*, 6:217-226.
- BEJON P., WILLIAMS T.N., LILJANDER A., NOOR A.M., WAMBUA J., OGADA E. et al. (2010). Stable and unstable malaria hotspots in longitudinal cohort studies in Kenya. *PLoS Med.* 7:e1000304. doi:10.1371/journal.pmed.1000304.
- BELKIN J.N., HOGUE C.L., GALINDO P., AITKEN T.H.G., SCHICK R.X., POWDER W.A. (1965). Mosquito studies (Diptera Culicidae) II. Method for the collection, rearing and preservation of mosquitoes. *Contrib. Am. Ent. Inst.*, 1:19-78.

- BERTI J. & ZIMMERMAN R. (1998). Métodos para el control integrado de los vectores de la malaria en Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. & San Amb.* 37:123-136.
- BERTI J., GONZALES J., VANEGAS C., GUZMÁN H., AMARISTA J. (1998a). Fluctuaciones estacionales de la densidad larvaria de *Anopheles pseudopunctipennis* Theobald 1901 (Diptera: Culicidae) en dos ríos de Santa Fe, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Entomol. Venez.*, 13:1-15.
- BERTI J., GUZMÁN H., LIRIA J., GONZÁLEZ J., ESTRADA Y., PÉREZ E. (2011). Nuevos registros de mosquitos (Diptera Culicidae) para el estado Bolívar, Venezuela: Dos de ellos nuevos para el país. *Bol. Mal. Salud Amb.*, 51:59-69.
- BERTI J., VANEGAS C., AMARISTA J., GONZALEZ J., MONTAÑÉZ H., CASTILLO M. et al. (1998b). Inventario Preliminar y observaciones biológicas sobre los anofelinos (Díptera:Culicidae) de una región minera del estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Entomol. Venez.*, 13:17-26.
- BERTI J., ZIMMERMAN R., AMARISTA J. (1993). Spatial and temporal distribution of anopheline larvae in two malarious area in Sucre state, Venezuela. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 88:353-362.
- BERTI-MOSER J., GONZÁLES-RIVAS J. & NAVARRO E. (2008). Fluctuaciones estacionales y temporales de la densidad larvaria de *Anopheles darlingi* Root (Diptera: Culicidae) y familias de insectos asociados al hábitat en El Granzón, Parroquia San Isidro, Municipio Sifones del estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. Salud Amb.*, 48:177-189.

- BOGH C., LINDSAY S.W., CLARKE S.E., DEAN A., JAWARA M., PINDER M. & THOMAS C.J. (2007). High spatial resolution mapping of malaria transmission risk in the Gambia, West Africa, using Landsat TM satellite imagery. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 76:875–881.
- BOMBLIES A., DUCHEMIN J-B., & ELTAHIR E.A.B. (2009). A mechanistic approach for accurate simulation of village-scale malaria transmission. *Malaria Journal*, 8:223 doi: 10.1186/1475-2875-8-223.
- BOUMA M.J, Van Der KAAJ H.J. (1996). The El Nino Southern Oscillation and the historic malaria epidemics on the Indian subcontinent and Sri Lanka: an early warning system for future epidemics? *Trop Med Int Health*, 1:86-96.
- BOUMA M.J. & DYE C. (1997). Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *JAMA*, 278:1772-1774.
- BOUMA M.J. (2003). Methodological problems and amendments to demonstrate effects of temperature on the epidemiology of malaria. A new perspective on the highland epidemics in Madagascar, 1972-1989. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 97:133-139
- BOUMA M.J., DYE C. & van der KAAJ H.J. (1996). Falciparum malaria and climate in the Northwest frontier province of Pakistan. *Am. J. Trop. Med. & Hyg.*, 55:131.137.
- BOUMA M.J., POVEDA G., ROJAS W., CHAVASE D., QUIÑONES M., COX J., PATZ J. (1997). Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño Southern Oscillation. *Trop med Int Health*, 2: 1122-7.

- BROCHERO H., PAREJA P.X., ORTIZ G., OLANO V.A. (2006). Sitios de cría y actividad de picadura de especies de *Anopheles* en el municipio de Cimitarra, Santander, Colombia. *Biomédica*, 26:269-77.
- BRUCE-CHWATT L.J. (1980). *Essential Malariology*. London: Williams Heinemann Medical Books Ltd. 354 p.
- CAILLY P., BALENGHIEN T., EZANNO P., FONTENILLE D., TOTY C., TRAN A. (2011). Role of the repartition of wetland breeding sites on the spatial distribution of *Anopheles* and *Culex*, human disease vectors in Southern France. *Parasites & Vectors*, 4:65 doi:10.1186/1756-3305-4-65.
- CALADO D.C., FOSTER P.G., BERGO E.S., DOS SANTOS C.L.S., GALARDO A.K.R., SALLUM M.A.M. (2008). Resurrection of *Anopheles goeldii* from synonymy with *Anopheles nuneztovari* (Diptera, Culicidae) and a new record for *Anopheles dunhami* in the Brazilian Amazon. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 103:791-799.
- CALDAS DE C.M., MONTE-MÓR R.L., SAWYER D.O., SINGER B.H. (2006). Malaria risk on the Amazon frontier. *PNAS*, 103:2452–2457, doi 10.1073 pnas 0510576103.
- CALDAS DE C.M., SAWYER D.O., SINGER B.H. (2007). Spatial patterns of malaria in the Amazon: Implications for surveillance and targeted interventions. *Health & Place*, 13:368–380.
- CAPINHA C., GOMES E., REIS E., ROCHA J., SOUSA C.A., do ROSÁRIO V.E., ALMEIDA A.P. (2009). Present habitat suitability for *Anopheles atroparvus*

- (Diptera, Culicidae) and its coincidence with former malaria areas in mainland Portugal. *Geospatial Health*, 3:177-187.
- CHACIN F. (1998). Análisis de regresión y superficie de respuesta. Maracay, Venezuela. Publicación de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 274 p.
- CHARLWOOD J.D. (1996). Biological variation in *Anopheles darlingi* Root. *Mem. Ints. Oswaldo Cruz*, 91:391-398.
- CHAVES L.F. (2007). *Casas Muertas* and *Oficina N° 1*: internal migrations and malaria trends in Venezuela 1905-1945. *Parasitol. Res.*, doi 10.1007/s00436-006-0427-1.
- CHOWELL G., MUNAYCO C.V., ESCALANTE A.A. & MCKENZIE F.E. (2009). The spatial and temporal patterns of falciparum and vivax malaria in Peru: 1994-2006. *Malaria Journal*, 8:142 doi:10.1186/1475-2875-8-142
- CONN J.A., WILKERSON R.C., SEGURA M.N.O., de SOUZA R.T.L., SCHLICHTING C.D., WIRTZ R.A., POVOA M.M. (2002). Emergence of a new neotropical malaria vector facilitated by human migration and changes in land use. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 66:18-22.
- CORPORACION VENEZOLANA DE GUAYANA, ELECTRICIDAD DEL CARONI [CVG EDELCA] (1995). Mapa de Vegetación de la Guayana Venezolana. Recopilado y adaptado por Otto Huber, CVG EDELCA y Missouri Botanical Garden, Caracas, 1995.

- COUTINHO M.V., dos SANTOS C.B., de SOUZA P.I., FEITOZA L.R., NAGATANI F.H., FALQUETO A. (2009). Use of geoprocessing to define malaria risk areas and evaluation of the vectorial importance of anopheline mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Espírito Santo, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 104: 570-575.
- CRAIG M.H., SNOW R.W. & le SUEUR D. (1999). A Climate-based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitology Today*, 15:105-111.
- Da SILVA N.S., da SILVA-NUNES M., MALAFRONTA R.S., MENEZES M.J., D'ARCADIA R.R., KOMATSU N.T., et al. (2010). Epidemiology and control of frontier malaria in Brazil: lessons from community-based studies in rural Amazonia. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. & Hyg.*, 104:343–350.
- Da SILVA-VASCONCELOS A., KATO M.Y., MOURAO E.N., de SOUZA R.T., LACERDA R.N., SIBAJEV A. et al. (2002). Biting indices, host-seeking activity and natural infection rates of anopheline species in Boa Vista, Roraima, Brazil from 1996 to 1998. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 97:151-161.
- DAMBACH P., MACHAULT V., LACAUX J-P., VIGNOLLES C., SIE A., SAUERBORN R. (2012). Utilization of combined remote sensing techniques to detect environmental variables influencing malaria vector densities in rural West Africa. *Inter. J. Health Geographics*, 11:8 doi:10.1186/1476-072X-11-8.
- DAMBACH P., SIE´ A., LACAUX J-P., VIGNOLLES C., MACHAULT V., SAUERBORN R. (2009). Using high spatial resolution remote sensing for risk

mapping of malaria occurrence in the Nouna district, Burkina Faso. *Global Health Action*, doi: 10.3402/gha.v2i0.2094.

De OLIVEIRA-FERREIRA J., LOURENCO-DE-OLIVEIRA R., TEVA A., DEANE L.M., DANIEL-RIVEIRO C.T. (1990). Natural malaria infections in anophelines in Rondônia state, Brazilian Amazon. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 43:6-10.

DELGADO L., GAMBOA L.L., LEÓN N. (2000). Aspectos geográficos relacionados con un problema de Salud Pública: La malaria en el estado Sucre. *Terra*, 16:81-97.

DELGADO L., RAMOS S., MARTÍNEZ N., GARCÍA P. (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*, 1:128-142.

DELGADO N., BERTI J., GONZALEZ D., GONZALES J., AMARISTA J. (1998). Estudio biosistemático y ecológico de *Anopheles aquasalis* y sus implicaciones para el control de la malaria en el estado Sucre: III -Control biológico e integrado. *Bol. Dir. Malariol. y San Amb.*, 38:47-62.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (2010). Boletín Integral de Salud Ambiental. (Semana epidemiológica N° 52). Maracay: Autor.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (2011). Boletín Integral de Salud Ambiental. (Semana epidemiológica N° 52). Maracay: Autor.

ERNST K.C., ADOKA S.O., KOWUOR D.O., WILSON M.L., JOHN C.C. (2006).

Malaria hotspot areas in a highland Kenya site are consistent in epidemic and non-epidemic years and are associated with ecological factors. *Malaria Journal*, 5:78 doi:10.1186/1475-2875-5-78.

FARAN M.E., LINTHICUM K.J. (1981). A handbook of the Amazonian species of *Anopheles (Nyssorhynchus)* (Diptera: Culicidae). *Mosq. Syst.*, 13:1-81.

FERNANDEZ-SALAS I., ROBERTS D.R., RODRIGUEZ M.H., MARINA-FERNANDEZ C.F. (1994). Bionomics of larval population of *Anopheles pseudopunctipennis* in the Tapachula foothills area, Southern Mexico. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 10:477-486.

FLORES-MENDOZA C., PEYTON E.L., WILKERSON R.C., de OLIVEIRA R.L. (2004). *Anopheles (Nyssorhynchus) konderi* Galvao and Damasceno: Neotype designation and resurrection from synonymy with *Anopheles (Nyssorhynchus) oswaldoi* (Peryassu) (Diptera: Culicidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.*, 106: 118–132.

FOLEY D.H., WILKERSON R.C., BIRNEY I., HARRISON S., CHRISTENSEN J., RUEDA L.M. (2010). MosquitoMap and the Mal-area calculator: new web tools to relate mosquito species distribution with vector borne disease. *International Journal of Health Geographics*, 9:11, doi:10.1186/1476-072X-9-11.

- FOLEY D.H., WILKERSON R.C., RUEDA L.M. (2009). Importance of the “What,” “When,” and “Where” of Mosquito Collection Events. *J. Med. Entomol.*, 46:717-722.
- FORATTINI O.P. (1987). Compartemento exofilo de *Anopheles darlingi* Root, em região meridional do Brasil. Exophilic Behavior of *Anopheles darlingi* Root in a southern region of Brazil. *Rev. Saúde Pública*, 21:291-304.
- FORATTINI O.P., KAKITANI I., ALVARENGA M.M.G.R., de BRITO M. (1998). Formas imaturas de anofelineos em recipientes artificiais. *Rev. Saúde Pública*, 32.
- GABALDON A. (1949). The nationwide campaign against malaria in Venezuela. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 43:113-164.
- GABALDON A. (1971). Metodología para programas de erradicación de la malaria. *Bol. Dir. Malariol. San. Amb.* 11:285-313
- GABALDON A. (1981). *Anopheles nuneztovari*: importante vector y agente de malaria refractaria en Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. San. Amb.*, 21:28-38.
- GALARDO A.K.R., ARRUDA M., D’ALMEIDA A.A.R., WIRTZ R., LOUNIBOS L.P., ZIMMERMAN R.H. (2007). Malaria vector incrimination in three rural riverine villages in Brazilian Amazon. *Am. J. Trop Med. Hyg.*, 76:461-469.
- GALARDO A.K.R., ZIMMERMAN R.H., LOUNIBOS L.P., YOUNG L.J., GALARDO C.D., ARRUDA M., D’ALMEIDA A.A.R. (2009). Seasonal abundance of anopheline mosquitoes and their association with rainfall and malaria along the Matap’i River, Amap’i, Brazil. *Med. Vet. Entomol.*, 23:335–349.

- GAUDART J., TOURÉ O., DESSAY N., DICKO A.I., RANQUE S., FOREST L. et al. (2009). Modelling malaria incidence with environmental dependency in a locality of Sudanese savannah area, Mali. *Malaria Journal*, 8:61.
- GIROD R., GABORIT P., CARINCI R., ISSALY J., FOUQUE F. (2008). *Anopheles darlingi* bionomic and transmission of *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax* and *Plasmodium malariae* in Amerindian villages of the Upper-Maroni Amazonian forest, French Guiana. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 103:702-710.
- GITHEKO A.K., LINDSAY S.W., COTALONIERI U.E. & PATZ J.A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bull. World Health Org.*, 78: 1136-1147.
- GOMES E.C.dS, ALBUQUERQUE C.M.R., de SOUZA J.R.B., ARRUDA M.E., CONFALONIERI U.E.C. (2008). Structure of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) population in areas with different degrees of human settlement: Cantá - Roraima - Brazil . *Acta Amazonica*, 38: 321 - 329
- GOMEZ-ELIPE A., OTERO A., van HERP M. & AGUIRRE-JAIME A. (2007). Forecasting malaria incidence based on monthly case reports and environmental factors in Karuzi, Burundi, 1997–2003. *Malaria Journal*, 6:129
- GRIFFIN J.T., HOLLINGSWORTH T.D., OKELL L.C., CHURCHER T.S., WHITE M. et al. (2010). Reducing *Plasmodium falciparum* Malaria Transmission in Africa: A Model-Based Evaluation of Intervention Strategies. *PLoS Med* 7: e1000324. doi:10.1371/journal.pmed.1000324

- GRILLET M.E. (2000). Factors Associated with Distribution of *Anopheles aquasalis* and *Anopheles oswaldoi* (Diptera: Culicidae) in a Malarious Area, Northeastern Venezuela. *J. Med. Entomol.*, 37: 231-238.
- GRILLET M.E., LEGENDRE P., BORCARD D. (2002). Community structure of neotropical wetland insects in Northern Venezuela. I. Temporal and environmental factors. *Arch. Hydrobiol.*, 155:413-436.
- 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.
- GRILLET M-E., BARRERA R., MARTÍNEZ J-E., BERTI J., FORTIN M-J. (2010). Disentangling the Effect of Local and Global Spatial Variation on a Mosquito-Borne Infection in a Neotropical Heterogeneous Environment. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 82:194–201. doi:10.4269/ajtmh.2010.09-0040
- GRILLET M-E., MARTÍNEZ J.E. & BARRERA R. (2009). Focos calientes de transmisión de malaria: Implicaciones para un control orientado y efectivo en Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.*, 49:7-22.
- GUEVARA D.J.M. (1987). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos, (2da ed.). Caracas. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, 128 p.

- GUEVARA D.J.M. (2003). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos, (2da ed.). Caracas. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, 128 p.
- GUIMARÃES A.E., GENTILE C., ALENCAR J., MACEDO L.C., PINTO de MELO R. (2004). Ecology of Anopheline (Diptera, Culicidae), malaria vectors around the Serra de Mesa reservoir, State of Goiás, Brazil. 1 – Frequency and climatic factors. *Cad. Saúde Pública*, 20:291-302.
- HAINES A. & McMICHAEL A.J. (1997). Climate change and health: implications for research, monitoring and policy. *BMJ*, 315:870-874.
- HAY S.I., ROGERS D.J., RANDOLPH S.E., STERN D.I., COX J., SHANKS G.D. & SNOW R.W. (2002). Hot tropic or hot air? Climate change and malaria resurgence in East African highlands. *Trends in Parasitology*, 18:530-534.
- HAY S.I., ROGERS D.J., SHANKS G.D., MYERS M.F. & SNOW R.W. (2001). Malaria early warning in Kenya. *Trends in Parasitology*, 17:95-99.
- HAYES R.O., MAXWELL E.L., MITCHELL C.J. & WOODZICK T.L. (1985). Detection, identification, and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites. *Bull. World Health Org.*, 63:361-374.
- HERNÁNDEZ G.R. (1987). Geografía del estado Bolívar. Academia Nacional de la Historia, CVG Siderúrgica del Orinoco, C.A. Italgráfica, S.R.L. Caracas, Venezuela. 260 pp.

- HERNANDEZ J.E., EPTEIN L.D., RODRIGUEZ M.H., RODRIGUEZ A.R., REJMANKOVA E., ROBERTS D.R (1997). Use of generalized regression tree models to characterize vegetation favoring *Anopheles albimanus* breeding. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 13:28-34.
- HERRERA S., SUAREZ M.F., SÁNCHEZ G.I., QUIÑÓNEZ M.L., HERRERA M. (1987). Uso de la técnica inmuno-radiométrica (IRMA) en *Anopheles* de Colombia para la identificación de esporozoitos de *Plasmodium*. *Col. Med.*, 18:2-6.
- HIWAT H. & BRETAS B. (2011). Ecology of *Anopheles darlingi* Root with respect to vector importance: a review. *Parasites & Vectors*, 4:177. doi:10.1186/1756-3305-4-177.
- HUDSON J.E. (1984). *Anopheles darlingi* Root (Diptera: Culicidae) in the Suriname rain forest. *Bull. Ent. Res.*, 74:129-142.
- KITRON U. (2000). Risk Maps: Transmission and Burden of Vector-borne Diseases. *Parasitology Today*, 16:324-325.
- KLEIN T.A, LIMA J.B.P. (1990). Seasonal distribution and biting patterns of *Anopheles* mosquitoes in Costa Marques, Rondônia, Brazil. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 6: 700-707.
- KOVATS R.S. (2000). El Niño and human health. *Bull. World Health Org.*, 78:1127-1135.
- KRISTAN M., ABEKU T.A., BEARD J., OKIA M., RAPOUDA B., SANG J. & COX J. (2008). Variations in entomological indices in relation to weather patterns and

- malaria incidence in East African highlands: implications for epidemic prevention and control. *Malaria Journal*, 7:231 doi:10.1186/1475-2875-7-231.
- KUMAR K.K., RAJAGOPALAN B., CANE M.A. (1999). On the weakening relationship between the Indian monsoon and ENSO. *Science*, 284: 2156-9.
- LANERI K., BHADRA A., IONIDES E.L., BOUMA M., DHIMAN R.C. et al. (2010) Forcing Versus Feedback: Epidemic Malaria and Monsoon Rains in Northwest India. *PLoS Comput. Biol.*, 6: e1000898. doi:10.1371/journal.pcbi.1000898.
- LEON C.W., VALLE T.J., NAUPAY O.R., TINEO V.E., ANGEL A.A., PALOMINO S.M. (2003). Comportamiento estacional del *Anopheles (Nyssorhynchus) darlingi* Root 1926 en localidades de Loreto y Madre de Dios, Perú 1999-2000. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública*, 20:22-27.
- LEVINSHON M. (1994). Climate warming and increased malaria incidence in Rwanda. *Lancet*, 343:714-718.
- LINDSAY S.W. (1996). Climate change and malaria transmission. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 90:537-588.
- LOUNIBOS L.P. & CONN J.E. (2000). Malaria vector heterogeneity in South America. *Am. Entomologist*, 46:237-248.
- LOURENÇO-DE-OLIVEIRA R., GUIMARAES A.E.D.G., ARLÉ M., da SILVA T.F., CASTRO M.G., ALBUQUERQUE M.M., DEANE L.M. (1989). Anopheline species, some of their habits and relation to malaria in endemic areas of Rondonia state, Amazon region of Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 84: 501-514.

- MAGRIS M., RUBIO-PALIS Y., ALEXANDER N., RUIZ B., GALVAN N., FRIAS D. et al. (2007a). Community-randomized trial of Lambda-cyhalothrin-treated hammock nets for malaria control in Yanomami communities in the Amazon region of Venezuela. *Trop. Med. & Internat. Health*, 12:1-12.
- MAGRIS M., RUBIO-PALIS Y., MENARES C. & VILLEGAS L. (2007b). Vector bionomics and malaria transmission in the Upper Orinoco river, Southern Venezuela. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 102:303-311.
- MANGUIN S., ROBERTS D.R., PEYTON E.L., REJMANKOVA E., PECOR J. (1996). Characterization of *Anopheles pseudopunctipennis* larval habits. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 12:619-626.
- MARQUES A.C. (1987). Human migration and spread of malaria in Brazil. *Parasitology Today*, 3:166-170.
- MARTENS W.J., NIESSEN L.W., ROTMANS J., JETTEN T.H., McMICHAEL A.J. (1995). Potential impact of global climate change on malaria risk. *Environ. Health Perspect.*, 103:458-464
- McMICHAEL A.J., HAINES A. (1997). Global climate change: the potential effects on health. *BMJ*, 315: 805-809.
- McMICHAEL J., HAINES A., SLOOFF R. & KOVATS (1998). Climate Change and Human Health. *Climatic Change*, 38:501-506.
- MEDINA D., BEVILACQUA M., CÁRDENAS L., MORALES L.G., RUBIO-PALIS Y., MARTÍNEZ A., et al. (2011). Mapa de riesgo de transmisión de malaria en la cuenca del río Caura, Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.*, 51:129-144.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES [MARNR] (1993-2003) Registros climatológicos, estaciones de Anacoco y Fuerza Aérea Venezolana, Tumeremo: (Autor).

MOLINA A.M. (2008). Sistemas de información geográfica para el análisis de la distribución espacial de la malaria en Colombia. *Revista EIA*, Número 9, 91-111.

MOLINA DE F. D., SAUME R.F., BISSET J., HIDALGO O., CASTILLO M., ANAYA W. et al. (1997). Establecimiento de una línea de susceptibilidad de la fase adulta de *Anopheles* spp. a insecticidas químicos. *Bol. Dir. Malariol. & San. Amb.*, 37:55-69.

MONTEIRO DE BARROS F.S. & ALVES H.N. (2007). Man biting rate seasonal variation of malaria vectors in Roraima, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 102: 299-302.

MONTEIRO DE BARROS F.S., ARRUDA M.E., GURGEL H.C., ALVES H.N. (2011). Spatial Clustering and longitudinal variation of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) larvae in a river of the Amazon: the importance of the forest fringe and of obstructions to flow in frontier malaria. *Bull. Entomol. Res.* 6: e22388. doi:10.1371

MONTEIRO DE BARROS F.S., ARRUDA M.E., GURGEL H.C., ALVES H.N. (2011). Survivorship of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) in Relation with Malaria Incidence in the Brazilian Amazon. *PLoS One* 6: e22388. doi:10.1371/journal.pone.0022388.

- MORENO J., RUBIO-PALIS Y. & ACEVEDO P. (2000). Identificación de criaderos de anofelinos en un área endémica del estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. San. Amb.*, 40: 21-30.
- MORENO J., RUBIO-PALIS Y., PEREZ E., SANCHEZ V., PAEZ E. (2002). Evaluación de tres métodos de captura de anofelinos en un área endémica de malaria del estado Bolívar, Venezuela. *Entomotropica*, 17:157-165.
- MORENO J., RUBIO-PALIS Y., SÁNCHEZ V. & MARIANY D. (2004). Primer registro de *Anopheles (Nyssorhynchus) nuneztovari* Gabaldon, 1940 (Diptera: Culicidae) en el estado Bolívar y sus implicaciones eco-epidemiológicas. *Entomotrópica*, 19:55-58.
- MORENO J.E. (2000). Characterization of *Anopheles* breeding habitats in Sifontes, Bolívar state, Venezuela. [Abstract]. *J. Am. Mosq. Cont. Assoc.*, 16:295-312.
- MORENO J.E., RUBIO-PALIS Y. (2003). Primer reporte de *Anopheles (Anopheles) costai* y *A. forattinii* (Diptera: Culicidae) en Venezuela. *Entomotropica*, 18:211-213.
- MORENO J.E., RUBIO-PALIS Y., PÁEZ E., PÉREZ E. & SÁNCHEZ V. (2007). Abundance, biting behavior and parous rate of anopheline mosquito species in relation to malaria incidence in gold-mining areas in southern Venezuela. *Med. & Vet. Entomol.*, 21:339-349.
- MORENO J.E., RUBIO-PALIS Y., PÁEZ E., PÉREZ E., SÁNCHEZ V. & VACCARI E. (2009). Malaria entomological inoculation rates in gold mining areas of southern Venezuela, *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 104:764-768.

- MORENO J.E., RUBIO-PALIS Y., PÁEZ E., PÉREZ E., SANCHEZ V., VACCARI E. (2005). *Anopheles (Anopheles) neomaculipalpus*: a new malaria vector in the Amazon basin? *Med. & Vet. Entomol.*, 19:329-332
- MVSP. versión 3.13 (Copyright© 1985-2007 Kovach Computing Services)
- NAGM L., LUITGARDS-MOURA J.F., NEUCAMP C.D., MONTEIRO-de-BARROS F.S., ALVES H.N., TSOURIS P., ROSA-FREITAS M.G. (2007). Affinity and diversity indices for anopheline immature forms. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo*, 49:309-316.
- NAVARRO C.J.C. (1996). Actualización taxonómica de la tribu Anophelini de Venezuela, con nueva clave para la identificación de larvas de 4^{to} estadio. *Bol. Dir. Malariol & San. Amb.*, 35:25-43.
- NDIAYE O., HESRAN J.Y., ETARD J.F., DIALLO A., SIMONDON F., WARD M.N., ROBERT V. (2001). Climate variability and numbers of deaths attributable to malaria in the Niakhar area, Senegal, from 1984 to 1996. *Sante*, 11:25-33.
- OLSON S.H., GANGNON R., ELGUERO E., DURIEUX L., GUÉGAN J.F., FOLEY J.A., PATZ J.A. (2009). Links between Climate, Malaria, and Wetlands in the Amazon Basin. *Emerging Infectious Diseases*, 15:659-662.
- PAAIJMANSA K.P., READA A.F. & THOMASA M.B. (2009). Understanding the link between malaria risk and climate. *PNAS*, 106: 13844–13849.
- PACHECO M., VILLEGAS L., PÁEZ E. & MORENO J. (2001). Re-emergencia de *Plasmodium malariae* en el estado Bolívar [Abstract]. *Bol. Vzlan. Infectol.*, 11:5.

- PARRA-HENAO G., ALARCON P.E.P. (2008). Observaciones sobre la bionomía de *Anopheles* spp. (Diptera: Culicidae) en el municipio Valencia, departamento Córdoba, Colombia. *Bol. Malariol & Sal. Amb.*, 48:95-98.
- PASCUAL M., AHUMADA J.A., CHAVES L.F., RODO X. & BOUMA M. (2006). Malaria resurgence in the East African highlands: Temperature trends revisited. *PNAS*, 103:5829–5834.
- PATZ A., EPSTEIN P.R., BURKE T.A., BALBUS J.M. (1996). Global climate change and emerging infectious diseases. *JAMA*, 275:217-223.
- PATZ J.A. & OLSON S.H. (2006). Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices. *PNAS*, 103:5635–5636.
- PEYTON E.L. (1993). *Anopheles (Nyssorhynchus) dunhami*, resurrected from synonymy with *Anopheles nuneztovari* and validated as senior synonymy of *Anopheles trinkae* (Diptera: Culicidae). *Mosq. Syst.*, 25:151-156.
- POPE K.E., REJMÁNKOVÁ E., SAVAGE H.M., ARREDONDO-JIMENEZ J.I., RODRÍGUEZ M.H., ROBERT D.R. (1994). Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecol. Appl.*, 41:81-90.
- POVEDA G., ROJAS W., QUIÑÓNEZ M.L., VELEZ I.D., MANTILLA R.I., RUIZ D. et al. (2001). Coupling between annual and ENSO timescale in the malaria-climate association in Colombia. *Environ. Health Perspect.*, 109:489-493.
- POVEDA J.G. & ROJAS M.W. (1997) Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. *Rev. Acad. Colomb. Ciencias*, 21:421-429.

- POVOA M.M., CONN J.E., SCHILICHTING C.D., AMARAL J.C.O.F., SEGURA M.N.O., Da SILVA A. et al. (2003). Malaria vectors, epidemiology, and re-emergence of *Anopheles darlingi* in Belem, Pará, Brazil. *J. Med. Entomol.*, 40:379-386.
- POVOA M.M., WIRTZ R.A., LACERDA R.N.L., MILES M.A., WARHURST. (2001). Malaria vectors in the municipality of Serra do Navio, State of Amapá, Amazon Región, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 96:179-184.
- RAHMAN A., KRAKAUER N., ROYTMAN L., GOLDBERG M., KOGAN F. (2010). Application of Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)-based Vegetation Health Indices for Estimation of Malaria Cases. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 82:1004–1009.
- REITER P. (2008). Global warming and malaria: knowing the horse before hitching the cart. *Malaria Journal*, 7(Suppl 1):S3 doi:10.1186/1475-2875-7-S1-S3.
- REJMANKOVA E., HARBIN-IRELAND A., LEGE M. (2000). Bacterial abundance in larval habitats of four species of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Belize, Central America. *J. Vector Ecol.*, 25:229-238.
- REJMANKOVA E., ROBERTS D.R., HARBACH R.E., PECOR J., PEYTON E.L., MENGUIN S. et al. (1993). Environmental and regional determinant of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) larval distribution in Belize, Central America. *Environ. Entomol.*, 22:978-992.

- REJMANKOVA E., RUBIO-PALIS Y., VILLEGAS L. (1999). Larval habitats of anopheline mosquitoes in the Upper Orinoco, Venezuela. *J. Vector Ecology*, 24:130-137.
- REJMANKOVA E., SAVAGE H.M., REJMANEK M., ARREDONDO-JIMENEZ J.I., ROBERTS D.R. (1991). Multivariate analysis of relationships between habitats, environmental factors and occurrence of anopheline mosquito larvae *Anopheles albimanus* and *A. pseudopunctipennis* in Sothern Chiapas, Mexico. *J. Applied. Ecology*, 28:827-841.
- REJMANKOVA E., SAVAGE H.M., RODRIGUEZ M.H., ROBERTS D.R., REJMANEK M. (1992). Aquatic vegetation as basis for classification of *Anopheles albimanus* Weideman (Diptera: Culicidae) larval habitats. *Environ. Entomol.*, 21:598-603.
- ROBERTS D.R., ALECRIM W.D., TAVARES A.M., RADKE M.G. (1987). The house-frequenting, host-seeking and resting behavior on *Anopheles darlingi* in southeastern Brazil. *J. Am. Mosq. Cont. Assoc.* 3:433-441.
- ROBERTS D.R., MANGUIN S., REJMANKOVA E., ANDRE R., HARBACH R.E., VANZIE E. et al. (2002). Spatial distribution of adult *Anopheles darlingi* and *Anopheles albimanus* in relation to riparian habitats in Belize, Central America. *J. Vector Ecology*, 27:21-30.
- ROCA-FELTRER A., ARMSTRONG S.J.R.M., SMITH L., CARNEIRO I. (2009). A simple method for defining malaria seasonality. *Malaria Journal*. 8:1-14.

- RODRIGUEZ A.D., RODRIGUEZ M.H., MEZA R.A., HERNÁNDEZ J.E., REJMANKOVA E., SAVAGE H.M. et al. (1993). Dynamics of population densities and vegetation association of *Anopheles albimanus* larvae in a coastal area of Southern Chiapas, Mexico. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 9:46-57.
- RODRIGUEZ A.R. (Comp.) 1999. Conservación de humedales de Venezuela. Inventario, diagnóstico ambiental y estrategia. Comité Venezolano de la UICN. Caracas, Venezuela. 110 pp.
- ROGERS D.J., PARKER M.J. (1993). Vector borne diseases, model and globe change. *Lancet*, 342:1282-84.
- ROJAS E., BROWN E., ROSAS C., SCORZA J.V. (1992). Populations of larvae of *Anopheles* spp. in natural breeding sites in Western Venezuela, an area of refractory malaria. *Rev. Saúde Pública*, 26:336-342.
- ROSA-FREITAS M.G., TSOURIS P., PETERSON A.T., ALVES H.N., MONTEIRO DE BARROS F.S., BARROS de A.D. et al. (2007). An ecoregional classification for the state of Roraima, Brazil. The importance of landscape in malaria biology. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 102: 349-357.
- ROZENDAL J.A. (1990). Observation on the distribution of anopheline in Suriname with particular reference to malaria vector *Anopheles darlingi*. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 85:221-234.
- RUBIO-PALIS Y. (2000). *Anopheles (Nyssorhynchus)* de Venezuela taxonomía, bionomía, ecología e importancia médica. Publicado por la Escuela de

- Malariología y Saneamiento Ambiental “Dr. Arnoldo Gabaldon” y el Proyecto Control de Enfermedades Endémicas. Maracay, Venezuela, 120 p.
- RUBIO-PALIS Y. (2005). Situación actual de la taxonomía de la Subfamilia Anophelinae (Diptera: Culicidae) en Venezuela. *Bol. Malariol. Salud Amb.*, 45: 1-10.
- RUBIO-PALIS Y. (2006). Diagnostics and Prediction of Climate Variability and Human Health Impacts in the Tropical Americas. (IAI-CRN Project Venezuela) Final Scientific Report.
- RUBIO-PALIS Y. & ZIMMERMAN R.H. (1997). Ecoregional classification of malaria vectors in the neotropics. *J. Med. Entomol.*, 34:499-510.
- RUBIO-PALIS Y., CURTIS C.F. (1992). Biting and resting behavior of anophelines in western Venezuela and implications for control of malaria transmission. *Med. Vet. Entomol.*, 6:325-334.
- RUBIO-PALIS Y., MAGRIS M., PAZ R., LINES J.O. (2000). Population fluctuations of the malaria vector *Anopheles darlingi* in Southern Venezuela. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 16:308.
- RUBIO-PALIS Y., MENARE C., QUINTO A., MAGRIS M., AMARISTA M. (2005). Caracterización de criaderos de anofelinos (Diptera: Culicidae) vectores de malaria del Alto Orinoco, Amazonas, Venezuela. *Entomotrópica*, 20:29-38.
- RUBIO-PALIS Y., MORENO J.E., BEVILACQUA M., MEDINA D., MÁRTINEZ A., CÁRDENAS L. et al. (2010). Caracterización ecológica de los anofelinos y

- otros culícidos en territorio indígena del Bajo Caura, Estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.*, 50:95-107.
- RUBIO-PALIS Y., WILKERSON R., GUZMAN H. (2003). Morphological characters of adults *Anopheles (Nyssorhynchus) marajoara* in Venezuela. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 19:107-114.
- RUBIO-PALIS Y., WIRTZ R.A., CURTIS C.F. (1992). Malaria entomological inoculation rates in western Venezuela. *Acta Trop.*, 52:167-174.
- RUIZ D., POVEDA G., VÉLEZ I.D., QUIÑONES M.L., RÚA G.L., VELÁSQUEZ L.E. et al. (2006). Modeling entomological-climatic interactions of *Plasmodium falciparum* malaria transmission in two Colombian endemic-regions: contributions to a National Malaria Early Warning System. *Malaria Journal*, 5:66 doi:10.1186/1475-2875-5-66.
- SÁEZ-SÁEZ V., MARTÍNEZ J., RUBIO-PALIS Y. & DELGADO L. (2007). Evaluación semanal de la relación malaria, precipitación y temperatura del aire en la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Malariol. & Salud Amb.*, 47:177-189.
- SÁEZ-SÁEZ V., RUBIO-PALIS Y. & PINO S.J. (2009). Variabilidad climática y malaria estudio regional: Municipio Sifontes, Estado Bolívar, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 25, 93-112.
- SAVAGE H.M., REJMANKOVA E., ARREDONDO-JIMENEZ J.I., ROBERTS D.R., RODRIGUEZ M.H. (1990). Limnological and botanical characterization of larval habitats for two primary larval vectors, *Anopheles albimanus* and *Anopheles*

- pseudopunctipennis*, in coastal areas of Chiapas state, Mexico. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 6:612-620.
- SCHOELER G.B., FLORES-MENDOZA C., FERNANDEZ R., REYES DJYZAK M. (2003). Geographical distribution of *Anopheles darlingi* in the amazon basin region of Peru. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 19:286-296.
- SCORZA J.V, RODRIGUEZ M., MORENO G. (1981). Ecología poblacional de *Anopheles nuneztovari* Gabaldon 1940, en el occidente de Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. & San. Amb.*, 21:1-27.
- SCORZA J.V., RODRIGUEZ M., MORENO G. (1977). Ecología de las larvas de *Anopheles nuneztovari* Gabaldon 1940, en El Vigía, Mérida, Venezuela. IB. Variaciones de las densidades larvarias en dos criaderos naturales de *Anopheles nuneztovari* y sus relaciones con el régimen bimodal de precipitación de la región occidental de Venezuela. *Bol. Dir. Malariol. & San. Amb.*, 22:280-294.
- SHANKS G.D., HAY S.I., OMUNBO J.A. & SNOW R.W. (2005). Malaria in Kenya's western highlands. *Emerg. Infect. Dis.*, 11:1425-1432.
- SILVA-do-NASCIMENTO T.F., LOURENÇO-de-OLIVEIRA R. (2007). Diverse population dynamics of three *Anopheles* species belonging to the Triannulatus Complex (Diptera: Culicidae) *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 102: 975-982.
- SINKA M.E., BANGS M.J., MANGUIN S., RUBIO-PALIS Y., CHAREONVIRIYAPHAP T., COETZEE M. et al. (2012). A global map of

- dominant malaria vectors. *Parasites & Vectors* 5:69, doi:10.1186/1756-3305-5-69.
- SINKA M.E., RUBIO-PALIS Y., MANGUIN S., PATIL A.P., TEMPERLEY W.H., GETHING P.W. et al. (2010). The dominant *Anopheles* vectors of human malaria in the Americas: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasit. Vectors*, 3: 72. doi:10.1186/1756-3305-3-72.
- SMITH T., CHARLWOOD J.D., KIHONDA J., MWANKUSYE S., BILLINGSLEY P., MEUWISSEN J. et al. (1993). Absence of seasonal variation in malaria parasitaemia in an area of intense seasonal transmission. *Acta Trópica*, 54:55-72.
- SOARES G.L.H., ALVES F.P., ZIELER H., SALCEDO J.M.V., DURLACHER R.R., CUNHA R.P.A. et al. (2003). Seasonal malaria transmission and variation of anopheline density in two distinct endemic areas in Brazilian Amazonia. *J. Med. Entomol.*, 40:636-641.
- SOUZA-SANTOS R. (2002). Distribuição sazonal de vetores da malaria em Machadinho d'Oeste, Rondônia, Região Amazônica, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, 18: 1813-1818
- SPSS Para Windows, version 15.0 (22 nov 2006). SPSS Inc, 1989-2006.
- SRIVASTAVA A., NAGPAL B.N., JOSHI P.L., PALIWAL J.C., DASH A.P. (2009). Identification of malaria hot spots for focused intervention in tribal state of India: a GIS based approach. *International Journal of Health Geographics*, 8:30 doi:10.1186/1476-072X-8-30.

- STATISTICA for Windows. (1996). Release 5.1. StatSoft; Inc. 1984-1996. Tulsa.
- STEIN M., LUDUEÑA-ALMEIDA F., WILLENER J.A., ALMIRON W.R. (2011).
Classification of immature mosquito species according to characteristics of the larval habitat in the subtropical province of Chaco, Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 106*: 400-407.
- TADEI W.P., TACHER-DUTARY B. (2000). Malaria vectors in the Brazilian Amazon: *Anopheles* of the subgenus *Nyssorhynchus*. *Rev. Inst. Med. Trop., 42*:87-94.
- TADEI W.P., THATCHER B.D., SANTOS J.M., SCARPASSA V.M., RODRIGUES 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.
- Ter BRAAK C.J.F , SMILAUER P. (1998). CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Micricomputer Power (Ithaca, NY, USA), 332 pp.
- THOMSON M.C., MASON S.J., PHINDELA T. & CONNOR S.J. (2005). Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *Am. J. Trop. Med. Hyg., 73*:214-221
- VASCONCELOS C.H., NOVO E.M. & DONALISIO M.R. (2006). Use of remote sensing to study the influence of environmental changes on malaria distribution in the Brazilian Amazon. *Cad. Saúde Pública, 22*:517-526.
- VENTOSILLA P., HUARCAYA E., GUTIERREZ P. & CHAUCA J. (2008). A statistical model for assessing relationships between meteorological variables

- and the incidence of *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* in a Peruvian endemic area. *Int. J. Environment. & Health*, 2:37-44.
- VITTOR A.Y., PAN W., GILMAN R.H., TIELSCH J., GLASS G., SHIELDS T. et al. (2009). Linking Deforestation to Malaria in the Amazon: Characterization of the Breeding Habitat of the Principal Malaria Vector, *Anopheles darlingi*. *Am. J. Trop. Med & Hyg*, 81: 5–12.
- VITTOR R., GILMAN J., TIELSCH J., GLASS G., SHIELDS T., LOZANO W.S. et al. (2006). The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi* the primary vector of falciparum malaria in the Peruvian Amazon. *Am. J. Trop. Med. & Hyg.*, 74:3–11.
- WANG H.J., ZHANG R.H., COLE J., CHAVEZ F. (1999). El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): the largest signal in interannual climate variation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96:11071-11072.
- WANGDI K., SINGHASSIVANON P., SILAWAN T., LAWPOOLSRI S., WHITE N.J. & KAEWKUNGWAL J. (2010). Development of temporal modeling for forecasting and prediction of malaria infections using time-series and ARIMAX analyses: A case study in endemic districts of Bhutan. *Malaria Journal*, 9:251.
- WILKERSON R.C., MUREB SALLUM M.A. (1999). *Anopheles (Anopheles) forattinii*: a new species in Series Arribalzagia (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.*, 36:345-354.
- WILKWERSON R.C., PARSONS T.S., KLEIN T.A., GAFFIGAN T.V., BERGO E., CONSOLI J. (1985). Diagnosis by random amplified polymorphic DNA

polymerase chain reaction of four cryptic species related to *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) *albitarsis* (Diptera: Culicidae) from Paraguay, Argentina and Brazil. *J. Med. Entomol.*, 32:697-704.

XIAO D., LONG Y., WANG S., FANG L., XU D., WANG G. et al. (2010). Spatiotemporal distribution of malaria and the association between its epidemic and climate factors in Hainan, China. *Malaria Journal*, 9:185.

ZHOU G., MINAKAWA N., GITHEKO A.K. & YAN G. (2004). Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *PNAS*, 101:2375–2380.

ZIMMERMANN R.H. (1992). Ecology of malaria vectors in the Americas and future and direction. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, 87:371-383.