



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA

TESIS DOCTORAL:

**Desarrollo de un índice de riesgo de malaria en  
Tanzania mediante observación espacial y  
modelización meteorológica**

Presentada por **SILVIA FRAILE NAVARRO** para optar al grado de  
Doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:  
José-Luis Casanova Roque y María Julia Sanz Justo



**D. JOSÉ-LUIS CASANOVA ROQUE** Catedrático de la Universidad de Valladolid y **Dña. MARÍA JULIA SANZ JUSTO**, Profesora Titular de la Universidad de Valladolid:

**CERTIFICAN:** Que la presente memoria titulada “Desarrollo de un índice de riesgo de malaria en Tanzania mediante observación espacial y modelización meteorológica” ha sido realizada bajo nuestra dirección por **Dña. SILVIA FRAILE NAVARRO**

**Y PARA QUE CONSTE** y en cumplimiento de la legislación vigente, lo firmamos en Valladolid a 23 de Octubre de 2015.

Fdo.: José-Luis Casanova Roque

Fdo.: María Julia Sanz Justo



“Saber dónde encontrar la información y cómo usarla, éste es el secreto del éxito.”  
(Albert Einstein)



## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría expresar mi más sincera gratitud a los Doctores José-Luis Casanova Roque y María Julia Sanz Justo por guiarme en este trabajo de investigación pero sobre todo por guiarme en el día a día, por hacerme mejor persona tanto en lo laboral como en lo personal. Para mí habéis sido mucho más que mis mentores. Gracias.

Que mis compañeros Pablo, Dani y Javi encuentren aquí mi profundo agradecimiento por su cooperación y apoyo constante.

A mis chicos, por no tener en cuenta las horas que os he robado a lo largo de estos años. Por el apoyo incondicional que me dais y por estar conmigo cada día.





## INDICE

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN _____	1
Capítulo 2.- LA MALARIA, TANZANIA, MARCO DEL PROBLEMA __	17
<b>2.1 La malaria _____</b>	<b>21</b>
2.1.1 Historia de la malaria _____	21
2.1.2 Descripción de la enfermedad _____	22
2.1.3 Parásitos y vectores _____	23
2.1.3.1 Parásitos _____	23
2.1.3.2 Vectores _____	25
2.1.4 Factores que favorecen el desarrollo y la transmisión de la enfermedad _____	26
2.1.5 Lucha contra la malaria _____	27
<b>2.2 Tanzania _____</b>	<b>27</b>
2.2.1 Regiones tanzanas _____	27
2.2.2 Perfil geográfico _____	30
2.2.3 Perfil climático _____	32
2.1.3.1 Tendencias climáticas recientes _____	33
2.2.4 Perfil demográfico _____	34
2.2.5 ¿Por qué Tanzania? _____	38
<b>2.3 Marco del Problema _____</b>	<b>39</b>
2.3.1 La malaria en Tanzania, informes de la Organización Mundial de la Salud _____	39
2.3.1.1 Informes 2009-2013 _____	39
2.3.2 Otras fuentes _____	43
<b>2.4 Conclusiones _____</b>	<b>49</b>
Capítulo 3.- FUENTES DE DATOS _____	51
<b>3.1 Sensor MODIS _____</b>	<b>51</b>

<b>3.2 LANDSAT</b>	<b>52</b>
<b>3.3 TRMM (Tropical Rainfal Measuring Mission)</b>	<b>54</b>
<b>3.4 CPC (Climate Prdiction Center)</b>	<b>55</b>
<b>3.5 Modelo WRF (Weather Research Forecasting)</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 4.- BASE EMPÍRICA Y EXPERIMENTAL</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Factores de riesgo</b>	<b>63</b>
4.1.1 Modelo Digital de Elevaciones	65
4.1.2 Cubierta vegetal (Land Cover)	67
4.1.3 Producto NDVI	69
4.1.4 Temperatura de superficie	70
4.1.4.1 Temperatura de superficie MODIS	72
4.1.4.2 Temperatura de superficie WRF (Weather Research and Forecasting)	74
4.1.5 Precipitaciones	74
4.1.5.1 Precipitaciones de WRF (Weather Research and Forecasting)	75
4.1.5.2 Precipitaciones del Climate Prediction Center (CPC)	75
4.1.5.3 Precipitación del Tropical Rainfal Measuring Mission (TRMM)	76
4.1.5.4 Estaciones Meteorológicas	76
4.1.6 Humedad Relativa WRF (Weather Research and Forecasting)	77
4.1.7 Distancia con respecto de las masas de agua	78
4.1.8 Modelos globales	81
4.1.8.1 Informes de la Organización Mundial de la Salud	82
4.1.8.2 Proyecto Europeo	83
<b>Capítulo 5.- DATOS DE ENTRADA DEL SISTEMA</b>	<b>87</b>
<b>5.1 Recopilatorio de datos</b>	<b>87</b>
<b>5.2 Datos de partida</b>	<b>91</b>
5.2.1 Cubierta vegetal	92
5.2.2 Temperatura de superficie	94
5.2.2.1 Temperatura derivada de MODIS	95
5.2.2.2 Temperatura derivada de WRF	95
5.2.2.3. Comparativa de Resultados	96
5.2.3 Precipitaciones	97
5.2.3.1 Precipitación derivada de WRF	98
5.2.3.2 Climate Prediction Center (CPC)	98
5.2.3.3 Precipitación derivada de TRMM	99
5.2.4 Humedad Relativa	100
<b>Capítulo 6.- RESULTADOS</b>	<b>103</b>
<b>6.1 Metodología</b>	<b>103</b>

<b>6.2 Resultados</b>	<b>108</b>
6.2.1 Mbeya (1)	108
6.2.2 Rukwa (2)	110
6.2.3 Mwanza (4)	112
6.2.4 Shinyanga (5)	113
6.2.5 Tabora (6)	115
6.2.6 Kagera (7)	117
6.2.7 Kigoma (8)	119
6.2.8 Morogoro (10)	121
6.2.9 Pwani (13)	123
6.2.10 Dodoma (16)	124
6.2.11 Iringa (17)	126
6.2.12 Lindi (18)	128
6.2.13 Mtwara (19)	130
6.2.14 Ruvuma (20)	132
6.2.15 Singida (21)	134
6.2.16 Arusha (22)	136
6.2.17 Mayara (23)	138
6.2.18 Kilimanjaro (24)	139
6.2.19 Mara (25)	140
6.2.20 Tanga (26)	142
<b>6.3 Metodología para establecer un índice de riesgo provincial</b>	<b>143</b>
<b>6.4 Validación de los resultados</b>	<b>145</b>
6.4.1 Epidemias registradas	146
6.4.2 Validación del método en la provincia de Kagera	147
6.4.3 Validación del método en las provincias de Pwani y Morogoro	150
<b>Capítulo 7.- CONCLUSIONES</b>	<b>155</b>
<b>7.1 Conclusiones</b>	<b>155</b>
<b>7.2. Aportaciones de la Tesis Doctoral</b>	<b>156</b>
<b>7.3 Futuras mejoras y líneas de investigación</b>	<b>158</b>
7.3.1 Modelo Digital de Elevaciones	158
7.3.2 Distancia con respecto de las masas de agua	159
7.3.3 Estaciones meteorológicas	161
7.3.4 Modelos globales	163
<b>Capítulo 8.- DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</b>	<b>167</b>
<b>8.1 Definiciones</b>	<b>167</b>
<b>8.2 Abreviaturas</b>	<b>169</b>

Capítulo 9.- BIBLIOGRAFÍA \_\_\_\_\_ 173

ANEXO \_\_\_\_\_ 187

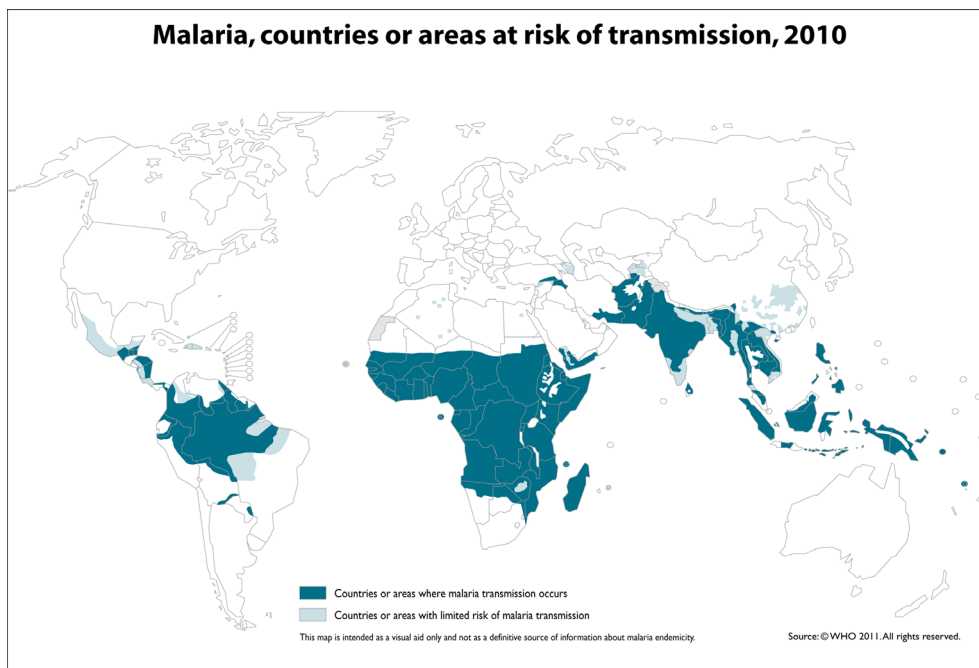
I - ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE VCAP, Vector Capacity, COMO INDICADOR DE LA  
INCIDENCIA DE LA MALARIA EN TANZANIA \_\_\_\_\_ 187

## Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el mundo hubo 198 millones de casos de malaria en 2013, de los que 584.000 fallecieron, siendo la mayoría niños africanos, que fallecen a razón de uno por minuto. El riesgo de esta enfermedad afecta aproximadamente a la mitad de la población mundial (WHO Report, Reviewed April 2015).

La malaria la causan unos parásitos que se transmiten a los seres humanos a través de las picaduras de mosquitos del género *Anopheles*. Estos inoculan dos especies de parásitos responsables de la mayoría de las enfermedades y la muerte por malaria: *Plasmodium Falciparum*, *Vivax*, *Ovalae* y *Malariae*.

En las zonas afectadas por la malaria, los niños y las mujeres embarazadas son especialmente vulnerables agravándose los efectos por la pobreza. En África se estima que la enfermedad mata a un niño de cada veinte antes de los cinco años. Se trata de un problema masivo de salud pública siendo endémica en más de 100 países En la Figura 1 aparecen los países afectados, lo que demuestra que se trata realmente de un problema mundial (WHO, Country list1, [http://www.who.int/ith/ITH\\_country\\_list.pdf](http://www.who.int/ith/ITH_country_list.pdf)) y la reciente concesión del Premio Nóbel de Medicina 2015 a los doctores William C. Campbell, Satoshi Ōmura y Youyou Tu por sus trabajos relativos a la prevención de enfermedades de transmisión parasitaria es una prueba del grave impacto de este tipo de enfermedades sobre la salud mundial.



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.



Fuente: OMS, 2000

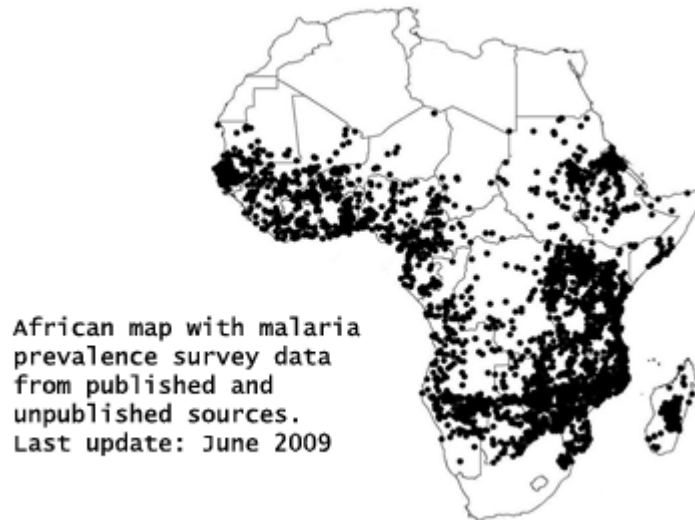
**Figura 1:** Países con presencia de malaria. 2010

La zona central de África es una zona donde la malaria está históricamente asentada y donde se producen el mayor número de muertes. De esta forma, la malaria representa una importante amenaza para la salud pública de millones de africanos y su control es reconocido como fundamental para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Grover-K, E. et al, 2006).

La mayor carga de malaria en África se produce en las regiones endémicas donde el patógeno de la enfermedad está continuamente presente en la comunidad. Estas regiones se caracterizan por contar con unas condiciones meteorológicas propicias para la interacción entre el mosquito *Anopheles*, los parásitos de la malaria y los anfitriones humanos, así como también las viviendas, generalmente de pobre calidad, que ofrecen poca protección contra el contacto mosquitos-humanos. Cuando las medidas de control de la malaria son inadecuadas, como es el caso en gran parte de África subsahariana, la distribución de la enfermedad está estrechamente relacionada con los patrones estacionales del clima y el medio ambiente local (Craig, M.H. et al 1999).

En ausencia de buenos datos epidemiológicos sobre la distribución de la malaria en África, se utiliza la información sobre el clima para desarrollar mapas que ilustran los límites de la idoneidad climática para la transmisión endémica. Los más conocidos son

los producidos por MARA, como el que se muestra en la Figura 2 sobre la distribución de la malaria en Africa.



Fuente: MARA/ARMA collaboration (<http://www.mara-database.org>)

Figura 2: Distribución de malaria en África

En África, la población que vive en zonas propensas a las epidemias de malaria y no inmune al parásito se estima en alrededor de 110 millones en 23 países (WHO, 2001).

Las epidemias de paludismo son gravísimas emergencias de salud pública. Por lo general ocurren con poca o ninguna advertencia en las zonas donde el sistema de salud no está preparado para hacer frente al problema emergente. En la mayoría de las situaciones, sin embargo, las condiciones epidémicas se desarrollan durante varias semanas, lo que teóricamente daría tiempo para una acción preventiva. Incluso cuando se produce una epidemia, todavía pueden pasar varias semanas antes de que alcance su punto más alto, por lo que algunos controles podrían ser efectivos si se aplicaran inmediatamente. La respuesta rápida sería posible si las autoridades adoptasen un plan de acción contra la malaria basado en un enfoque estratégico para la prevención y control de epidemias. Los objetivos serían:

- identificar las áreas con potencial epidémico y las poblaciones en situación de riesgo, para permitir la predicción y detección, necesarios para una respuesta rápida, y la planificación de la logística para tal respuesta.
- prevenir las epidemias de malaria mediante medidas de control y
- detectar una epidemia en sus primeras etapas y ponerla rápidamente bajo control a través de la gestión individual de los casos, el tratamiento en masa de la población y, donde aún fuera posible, el control de vectores. (WHO, 2004)

Aunque estas ideas son bien conocidas, el principal problema es que muchos gobiernos simplemente no tienen los recursos necesarios para poner en práctica la detección a

largo plazo, ni la alerta ni la detección temprana. La capacidad de los países afectados para la prevención de epidemias y el control de la malaria es generalmente débil. Pocos son capaces de recoger y analizar los datos pertinentes y procesarlos con la suficiente rapidez para permitir la prevención o el control efectivo. Las claves del éxito serían la planificación realista y sobre todo, la sensibilización de la comunidad. Como mejora se aconseja el uso de notificaciones semanales a la comunidad siempre que sea posible; de esta manera, la actuación sería efectiva (WHO, 2002).

Los países de la SADC (Southern African Development Community) debido a su superior nivel económico, representan una excepción a la situación general en África. Estos países han adoptado los objetivos que incluyen la mejora de la detección y respuesta ante epidemias, de manera que el 60% de las epidemias se detecta en las dos semanas siguientes al inicio, y el 60% de las epidemias se tratan dentro de las dos semanas siguientes a la detección. Sin embargo, los países de la SADC reconocen que para lograr estos objetivos necesitan una mejor información sobre dónde y cuándo buscar epidemias. La experiencia adquirida a partir de las epidemias anteriores y los datos meteorológicos/climáticos recogidos de forma rutinaria, proporcionan una señal de advertencia en la predicción. Los eventos climáticos inusuales, fuertes lluvias después de un período inusualmente seco, aumento inesperado de la temperatura y/o humedad parecen ser una causa destacada de muchas epidemias (WHO, 2008).

Este marco integrado de la OMS para mejorar la alerta temprana y la detección temprana de epidemias de malaria ha sido reconocido como una herramienta potencialmente útil para la preparación ante las epidemias y la planificación de la respuesta (DaSilva J., et al. 2004).

La alta mortalidad y las tasas de morbilidad que se están produciendo durante las epidemias, sobre todo cuando no se detectan inmediatamente y no se controlan a través de intervenciones eficaces, unidas a la debilidad de los gobiernos africanos para plantear y desarrollar medidas eficaces hacen que la malaria se haya convertido en una preocupación a nivel global. Incluso en regiones y países donde las intervenciones de control de la malaria se han establecido con éxito, la inmunidad se ha reducido con el tiempo y dado que las condiciones ambientales siguen siendo las mismas, es decir, propicias a la aparición de la enfermedad, el problema continúa latente.

El proyecto Roll Back malaria (RBM), <http://www.rollbackmalaria.org/> que fue iniciado por la OMS en 1998, se centra principalmente en la reducción de la malaria en África, que es donde se dan más del 90% de las muertes por esta enfermedad. La asociación RBM es una plataforma global para la acción coordinada contra la malaria. Diseña acciones y proporciona recursos en base a un consenso entre los socios, partiendo de las orientaciones decididas por la OMS (WHO, 2014). La Asociación está compuesta por más de 500 socios, incluidos los países endémicos de malaria, sus socios bilaterales y multilaterales para el desarrollo, el sector privado, organizaciones no gubernamentales



y comunitarias, y fundaciones e instituciones de investigación y académicas, entre los que cabe mencionar la Fundación Bill y Melinda Gates recientemente adherida.

Otro proyecto que está suministrando importantes recursos en la lucha contra la malaria es la denominada “The US President’s malaria Initiative” (The President’s Malaria Initiative, 2015) que arrancó en 2005 bajo la Presidencia de George Bush. Esta iniciativa dedica enormes fondos a la lucha contra la malaria, sobre todo en África. Los resultados son presentados al Congreso de los EEUU por el Presidente el denominado “World Malaria Day”, habitualmente a finales de abril. El correspondiente a 2015, que es el noveno informe anual, indica que el total invertido por los EEUU desde 2006 supera los 3500 millones de dólares; en 2014 se han tratado con insecticida más de 18 millones de hogares y se han distribuido más de 100 millones de mosquiteras.

Esta iniciativa sigue el patrón clásico de lucha contra las epidemias: se tratan las viviendas con insecticidas de larga duración, así como las mosquiteras. Se distribuyen test de diagnóstico rápido y diversos fármacos para los casos leves, como artemisina, o más graves, como la sulfadoxinepyrimethamine, aparte naturalmente de la formación de técnicos en estos campos. No obstante, este mismo informe también señala que aunque el número de niños de menos de cinco años fallecidos ha disminuido desde 2005, todavía sigue siendo muy elevado llegando en ocasiones a 128/1000 en Nigeria o 81/1000 en Tanzania

La recolección de datos, su análisis y una rápida respuesta deberían ser los mejores mecanismos para prevenir la transmisión y reducir la capacidad vectorial. La información debe ser analizada y llegar al nivel local enmarcada como acciones específicas de prevención. El acceso a los datos y los informes a todos los niveles son esenciales para asegurar que los ejecutores locales y la población puedan actuar de forma rápida y eficaz.

El advenimiento de las tecnologías que apoyan la vigilancia, incluidas las tecnologías de la comunicación, puede facilitar información en tiempo real. Sin embargo, estas tecnologías sólo deben usarse cuando sean localmente apropiadas y cuando puedan ser utilizadas con eficacia (Ohrt, C. et al, 2014).

En la década de los 70 (Cline. B, 1970) ya hizo referencia a una serie de estudios epidemiológicos utilizando fotografía aérea y otras técnicas de teledetección. Efectivamente, los vectores responsables de los brotes epidémicos viven en un hábitat específico, en unas condiciones muy concretas, siendo estas condiciones las que controlan su desarrollo.

A finales de los 80 se empezaba a reconocer el potencial de la teledetección en este tipo de estudios debido a su gran capacidad para identificar diferentes tipos de hábitats de potenciales parásitos. Además, permitía utilizar bases de datos históricas para comparar el estado actual con situaciones ya pasadas. Mediante el control de cambios

tanto cuantitativos como cualitativos en los hábitats, se pueden identificar áreas de alto riesgo en cuanto a transmisión de la enfermedad se refiere (M. Hugh-Jones, 1989).

A principios de la década de 1990 se pusieron en marcha varios proyectos multidisciplinarios con el objetivo de arrojar luz sobre los problemas relacionados con Fasciolosis, una enfermedad parasitaria típica de las altiplanicies del norte de Bolivia utilizando datos climáticos, índices de predicción del clima y datos de teledetección.

El primero de estos proyectos fue desarrollado en una escala regional para las regiones de Chile central y el modelo propuesto fue validado en una escala local en el Altiplano Norte boliviano. El modelo fue mixto y contaba con índices climáticos y valores de índices de vegetación derivados del AVHRR. Los datos fueron extrapolados a áreas donde la enfermedad era endémica tanto en humanos como en animales. Los mapas de riesgo resultantes fueron capaces de delimitar las áreas consideradas como endémicas; sin embargo, el proyecto carecía de datos más precisos para poder conocer el comportamiento de la transmisión (Fuentes, M., 2006).

Otro de los primeros éxitos del uso de la teledetección ocurrió en el Valle del Rift, en África oriental. Los brotes epidémicos del virus conocido como la fiebre del Valle del Rift van seguidos de períodos de precipitación anormalmente altos. El análisis de la temperatura del mar, así como los datos de índices de vegetación a partir de imágenes satélite, mostraron que los brotes epidémicos de esta enfermedad podrían predecirse hasta con cinco meses de antelación (Kenneth J., 1999).

Este y otros resultados favorables relativos al uso de la teledetección llevaron a su aceptación en el mundo de la salud no solamente en relación con la distribución de las enfermedades transmitidas por vectores sino también por otras (Louisa R. et al, 2000).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen excelentes medios para visualizar y analizar los datos epidemiológicos, revelando tendencias, dependencias e interrelaciones entre las condiciones ambientales y los demás factores que afectan a la transmisión de la enfermedad al asimilar datos obtenidos por observación espacial con datos meteorológicos o de otro tipo. (Kaushal A., et al, 2003) aplicaron con éxito las técnicas SIG al estudio del dengue en la zona del Puno.

Los SIG también han sido utilizados para predecir los posibles hábitats de vectores transmisores de enfermedades epidémicas como la descrita por (Yang G., et al, 2006) en su trabajo para la determinación de hábitat del *Oncomelanina hupensis*, el caracol huésped intermediario de *Schistosoma japonicum*, el cual utiliza el índice de vegetación, un índice de humedad adaptado y las áreas de inundación de los lagos de la provincia de Jiansú, en el este de China. Para ello, utilizaron datos Landsat, localizando un año típicamente seco y los tres años posteriores. Con estos datos fueron capaces de establecer las áreas con riesgo de transmisión de esquistosomiasis y relacionar los posibles impactos del cambio climático y otras transformaciones

ecológicas. No es necesario señalar la gran importancia de estos mapas, que son susceptibles de ser utilizados por los responsables de las políticas de salud para orientar así las políticas de mitigación.

Desde entonces la epidemiología ha evolucionado en sus técnicas para los estudios de enfermedades transmitidas por vectores y, entre esas técnicas, se incluye de manera rutinaria la teledetección. La asociación entre las variables derivadas de los datos de satélite como la temperatura, la humedad y los diferentes tipos de usos de suelo, con la densidad vectorial, son procedimientos habituales. Para ello, es importante la concurrencia de los datos satélite con la meteorología, así como una base de datos epidemiológicos con cierta georreferenciación (Kalluri S. et al, 2007).

Dada la necesidad de establecer patrones entre el comportamiento de ciertas enfermedades y el medio ambiente, surgen diversos estudios enfocados a resolver estos enlaces. Así, (Roux, E. et al, 2011), utiliza los datos de campo recogidos en Bahía (Brasil) de donde se tomaron a partir de un cuestionario estandarizado. A mayores, las características ambientales fueron obtenidas de datos satelitales. Para la revisión de los datos utilizaron un análisis jerárquico de los mismos. El trabajo consiguió relacionar los tipos de suelo con diferentes tipos de posibles plagas, aportando una estrategia para el control general de una región.

También la teledetección ha sido muy útil para el análisis de enfermedades no diseminadas por vectores. La predicción del cólera, una enfermedad relacionada con el agua, se basa en estimaciones de clorofila vía satélite como indicador de la abundancia de plancton, el cual se ha relacionado con la incidencia de la enfermedad. Para su detección se ha propuesto un nuevo índice basado en la teledetección el Water Maker Monitoring (SWM) que estima el estado de las aguas costeras utilizando dos longitudes de onda, la azul (412 nm) y la verde (555 nm). Este índice permite la predicción de los brotes de cólera con aproximadamente un par de meses de antelación (Jutla A. et al, 2013). En otras ocasiones se ha relacionado la presencia de cólera con la temperatura del agua, la concentración de nutrientes y por ende de la producción de plancton (Lobitz B. et al, 2000).

También la teledetección radar ha demostrado ser útil en el seguimiento de los vectores. En las inmediaciones de la aldea Barkedji (en la región Ferlo de Senegal), la abundancia y la agresividad de los mosquitos vectores de la fiebre del Valle del Rift (FVR) están fuertemente vinculadas a las precipitaciones y las masas de agua dinámicas que genera. Inicialmente estos resultados fueron obtenidos a partir del análisis óptico de alta resolución (~ 10 m) con imágenes Spot-5 y también, como parte del proyecto francés AdaptFVR, se realizó la identificación de las masas de agua dinámicas a una resolución mucho más baja (menor de 3 metros), mediante el satélite TerraSAR-X. A mayores el uso de los datos de lluvia provenientes de la misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) ayudan a ajustar con precisión los datos, de forma que permiten

hacer una cartografía espacio-temporal de las zonas potencialmente ocupadas por los mosquitos (Vignolles C. et al, 2010).

(Martin V. et al. 2007) postulan la importancia que tendría un sistema de alarma temprana de posibles epidemias, en este caso referidas al ganado y concretando en la gripe aviar del Valle del Rift concluyendo que la teledetección, junto con otras informaciones meteorológicas y climatológicas, serían elementos muy útiles para tal sistema de alarma temprana y reclamando acciones en este sentido tanto a nivel nacional como internacional.

(Machault, V. et al, 2011) insisten en esta idea y analizan las posibilidades de la teledetección para la elaboración de mapas de riesgo, a través de todos aquellos factores que pueden ser medidos desde el espacio: temperatura, lluvia, usos del suelo, humedad, vegetación etc., así como sus limitaciones y concluyen que la elaboración de un mapa de riesgo para la malaria es posible destacando la necesidad de que sea calculado casi en tiempo real.

De 2011 a 2013 se desarrolló un importante proyecto financiado por el 7º Programa Marco de la UE denominado “Earth Observation in malaria Vector Control and Management, MALAREO”. [www.malareogroup.eu](http://www.malareogroup.eu). El proyecto fue liderado por EUROSENSE (Bauwens I., Spain 2011) y participaron varios grupos europeos y africanos, incluyendo representantes de los usuarios finales de los países sobre los que se extendió el proyecto: Sudáfrica, Suazilandia y Mozambique. MALAREO Final Report; [http://cordis.europa.eu/result/rcn/56399\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/56399_en.html). El objetivo principal era suministrar información a los gestores locales como apoyo a sus iniciativas (Bauwens I., Lisboa 2011). De esta manera MALAREO, utilizando imágenes de satélite de alta y muy alta resolución, generó mapas que pudieron ser utilizados como guía para el tratamiento de las viviendas, mapas de zonas con agua para la localización de focos potenciales de los vectores, mapas de usos de suelo y de distribución de la población, etc. (Franke J. et al, 2013). Asimismo MALAREO modelizó el riesgo de malaria básicamente en función de la distancia a los lugares con agua y, en combinación con datos locales, mapas de incidencia de la malaria mediante una aproximación bayesiana. (Bauwens I., 2012).

Sin duda los resultados obtenidos han sido muy útiles para los gestores locales y el atlas resultante es de gran utilidad para ellos, pero la estimación del riesgo de malaria tal como proponen implica el uso de imágenes satelitales de muy alta resolución para la localización de los pequeños charcos o lagunas y dadas las circunstancias de los países afectados por la malaria, que incluso necesitan ayuda exterior para poder disponer de mapas de la zona, no parece que el método pueda ser fácilmente aplicado incluso contando con el personal técnico necesario para el tratamiento de estas imágenes.

Sin embargo, el concepto de riesgo está bien orientado puesto que la lluvia es uno de los principales factores que desencadenan epidemias en zonas cálidas semiáridas y

desierto-marginales. A menudo se producen epidemias explosivas en estas regiones después de lluvias excesivas seguidas de períodos de sequía, lo que junto con la falta de seguridad alimentaria pueden dar lugar a situaciones especialmente graves. En consecuencia, el seguimiento de las precipitaciones constituye uno de los elementos esenciales para el desarrollo de sistemas de alerta temprana de malaria integradas para el África subsahariana, como indica la OMS (Connor S.J. et al, 2003).

También (Ceccato P. et al, 2005) señalan que la lluvia, la humedad, la vegetación y la temperatura son factores clave en el desarrollo de los vectores y demuestran la viabilidad de la observación espacial para determinarlos. A estas mismas conclusiones llegan otros autores como (Màrius V. et al, 2006) en los Andes, (Hay S. et al 2003) en Kenia, con la malaria, con un especial énfasis en la influencia de la lluvia. Por no mencionar más autores (Teklehaimanot HD. et al, 2004) también confirmaron el impacto de la lluvia y la temperatura sobre la malaria en Etiopía.

En un proyecto promovido por la NASA en el sureste asiático, (Kiang R., 1999) [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/malaria\\_modeling](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/malaria_modeling) confirman que los parámetros ambientales más importantes para la transmisión de la malaria en el río Mekong incluyen la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y las condiciones de la vegetación y demostraron que estos parámetros tenían una buena correlación con los registros epidemiológicos.

En base a este y otros resultados, USAID decidió en 2010 incorporar al sistema FEWS NET un sistema de alerta temprana de la malaria “Early Warning System, MEWS” aprovechando los recursos de la NASA (Rowland J. et al, 2010). FEWS NET es la Red de Sistemas de Alerta Temprana para la Hambruna y es la principal proveedora de alertas tempranas y análisis sobre la inseguridad alimentaria aguda. Creada en 1985 por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), FEWS NET proporciona análisis para ayudar a los gobiernos y a los organismos responsables de atender los desastres a planificar y responder a las crisis humanitarias.

MEWS está actualmente a cargo de la Universidad de Columbia, <http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Health/Regional/Africa/malaria/System.html> e informa mediante mapas de África de la lluvia estimada en los últimos diez días, las temperaturas máxima y mínima, el NDVI y un índice propio denominado VCAP, “Vectorial Capacity”, que considera la influencia de la precipitación y la temperatura en los patrones de transmisión de malaria. VCAP es la tasa diaria a la cual pueden aumentar futuras inoculaciones partiendo de un caso infectado actual y podría asimilarse a un índice de riesgo. El mapa representa el promedio de los ocho días más recientes de VCAP. Este mapa VCAP utiliza una máscara epidemiológica para aislar las zonas propensas a nueva exposición de malaria. La máscara hace que VCAP sea representada exclusivamente en zonas donde la malaria es considerada epidémica, por lo tanto, las áreas donde la transmisión de malaria es considerada endémica o ausente están excluidas (Ceccato, P. et al 2012).

Este es el único sistema operacional de alerta rápida de la malaria que existe en África. Las informaciones sobre la lluvia estimada y la temperatura son sin duda interesantes para los gestores responsables de la prevención y lucha contra la malaria; sin embargo, el índice VCAP resulta muy confuso. En el Apéndice I mostramos los mapas de VCAP correspondientes al año 2012 para Tanzania, junto con el mapa del impacto de la malaria suministrado por las autoridades locales a la OMS. VPAC aparece prácticamente cero durante todo el año, mientras que en realidad hubo bastantes problemas. Por otra parte en el año 2006 está documentado un alto número de fallecimientos en la primera mitad de año en los distritos de Karagwe y Muleba en la provincia de Kagera (DREF Bulletin nº MDRTZ003, 2007) mientras que los valores de VPAC para esas fechas y lugares son prácticamente cero, como mostramos en el mismo Apéndice. Además, aunque se indica que no se calcula para las zonas endémicas, sí que hay valores, y elevados, para algunas áreas que claramente lo son, como la isla de Zanzíbar, en la que más del 60% de la población está infectada.

Aparte de esto, la información MEWS al ser en forma de mapas, exige una cierta capacidad de acceso a internet y no parece posible que sea distribuida a través de medios más sencillos, como mensajes de texto, ya que requiere la interpretación de un experto, y su periodicidad es variada, cada diez días la lluvia, cada ocho VPAC etc.

Esto nos llevó a pensar en la posibilidad de generar un índice de riesgo diario, que se obtuviera de modo automático, fácil de distribuir y utilizando información pública, tal como imágenes MODIS o, en el futuro, cuando MODIS deje de volar, Suomi-NPP, junto con modelos meteorológicos abiertos, como WRF y GFS. Como está claramente demostrado, los vectores están directamente influidos por las condiciones ambientales y mediante observación espacial y previsión meteorológica es posible estimar si la situación es favorable, o no, a su extensión.

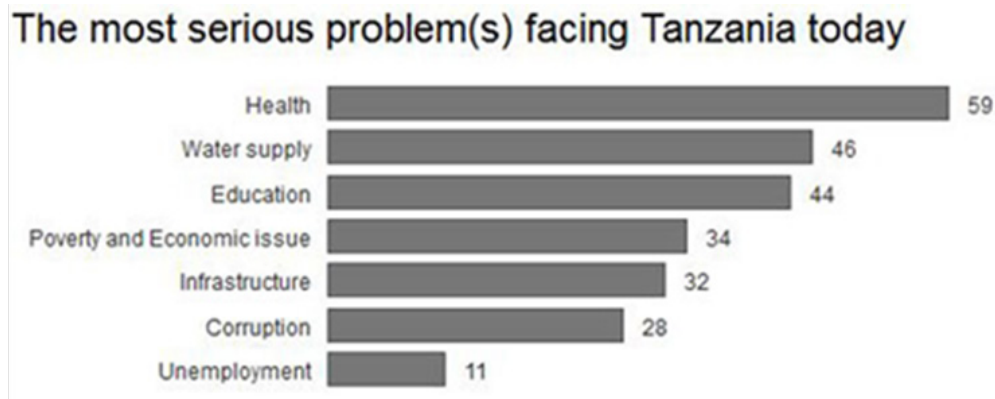
Por otra parte, un índice de riesgo de difusión rápida, cumpliría con las recomendaciones tanto de la Organización Mundial de la Salud como de otros organismos y autores que hemos mencionado en el sentido de advertir con tiempo a la población para que tome medidas preventivas y, en su caso, también a las autoridades.

El país elegido para desarrollar el índice ha sido Tanzania. Hubo varias razones para ello. El ya mencionado proyecto FP7 MALAREO se desarrolló en la región transfronteriza del sur de Mozambique, Swazilandia oriental y el noreste de Sudáfrica. Esta es una zona limítrofe con Tanzania, por lo que así se amplía la zona de estudio con un territorio de gran extensión y, además, quizá algunos de los resultados de MALAREO pudieran ser útiles para el caso de Tanzania, aun siendo este país más pobre y con menos recursos que los otros tres.

Además, según mencionaba Kathleen E McLaughlin en The Guardian, [http://www.theguardian.com/world/2012/dec/23/malaria-fake-medicines-africa-](http://www.theguardian.com/world/2012/dec/23/malaria-fake-medicines-africa)

[china](#), Tanzania y Uganda son los países con más casos de malaria del mundo. Tanzania está desarrollando una intensa labor en la lucha contra la malaria, es uno de los países que se beneficia de la President's Malaria Initiative, siendo el que más viviendas ha tratado (Govella, N. et al, 2013), ampliamente el que más personal ha formado en esta tarea (Masanja, I., 2012) y siendo también muy activo en la distribución de fármacos (Irunde H., 2012), lo que ha llevado a una disminución del número de niños fallecidos de 112 por mil en el periodo 2004-2005 a 81 en 2010 (Mulokozi, 2012).

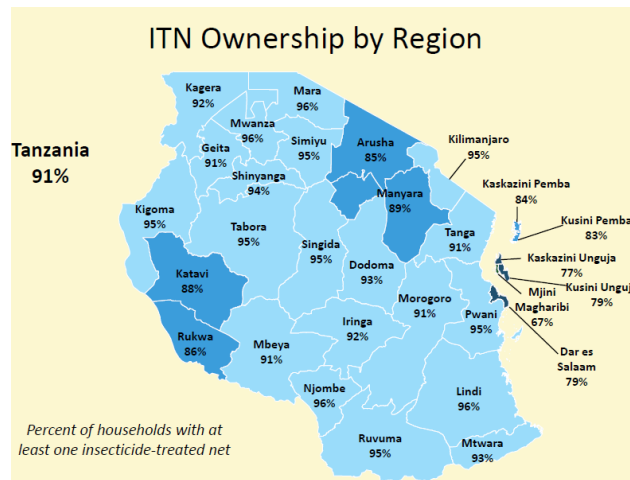
Esto refleja la sensibilidad de las instituciones tanzanas al sentir de la sociedad, ya que según recientes informaciones del periódico tanzano The Citizen en septiembre de 2015, el problema que más preocupa a la población es la salud, Figura 3, <http://www.thecitizen.co.tz/data/-/2595284/2595284/-/qu4vqt/-/index.html>



Fuente: the citizen, Tanzania

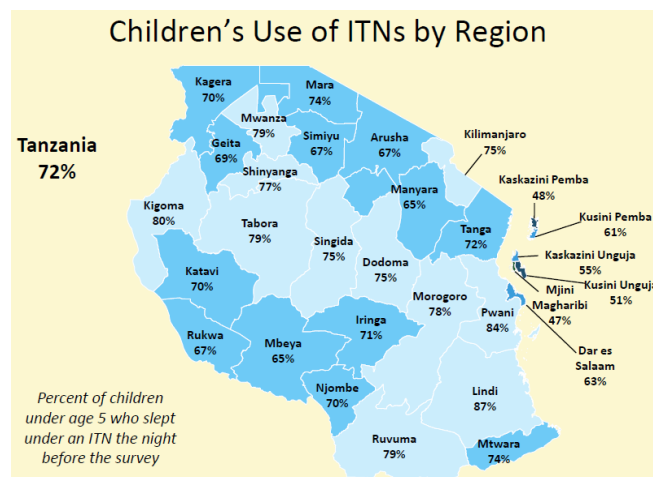
**Figura 3:** Problemas que afectan a la sociedad tanzana

El principal resultado de estas acciones es la disminución de la mortalidad infantil, que según el periódico The Citizen, <http://www.thecitizen.co.tz/data/-/2595284/2865626/-/sfik9o/-/index.html>, ha bajado desde 68'6 por mil en mayo de 2009 hasta 48'7 en mayo de 2015. Otros resultados de toda esta actividad se muestran en las Figuras 4 y 5 (Renata Mandike. 2013). Es de señalar que el porcentaje de población que utilizaba ITN's (Insecticide Treated Nets), es decir, mosquiteras con insecticida, ha pasado del 12% en 2005 al 75% en la actualidad.



Fuente: Renata Mandike. 2013

Figura 4: Porcentaje de mosquiteras por región



Fuente: Renata Mandike. 2013

Figura 5: Porcentaje de niños que duermen bajo una mosquitera

En conclusión, podemos decir que Tanzania está poniendo todo su esfuerzo en la lucha contra la malaria, (IHI Team. 2012) y hemos supuesto que esto genera un entorno más propicio para el uso y ajuste de un índice como el que proponemos.

El punto de partida del índice de riesgo desarrollado es la lluvia; es evidente que el elemento clave es la precipitación, pero la relación entre precipitación y casos de malaria no es directa y no hay una correlación clara entre ambas (Briët, O. et al, 2008). Esto nos ha llevado a utilizar la lluvia simplemente como un indicador de la posibilidad de la malaria. Típicamente en los países afectados hay malaria en las épocas de lluvia y no la hay en la época seca, luego lluvia y malaria están acopladas. Otro indicador que también hemos utilizado como filtro ha sido la temperatura, el vector solamente vive y



prolifera entre ciertos límites de temperatura, de manera que fuera de ellos hemos considerado que su presencia es mínima.

En segundo lugar, hemos considerado otras variables, entre las muchas mencionadas por diversos autores, que también dependen de la lluvia: la humedad, la humedad del suelo, el NDVI y otras que quizá sean menos evidentes. Ha habido un problema para obtener datos fiables de la incidencia de la malaria: a pesar de nuestros requerimientos sólo hemos dispuesto de los datos anuales de los años 2010 a 2013 incluidos en el informe de la OMS y de algunos informes de situaciones concretas, amén de la evidencia de que en la época seca no hay prácticamente actividad de los vectores.

Los datos los hemos tratado mediante el método de clusters a fin de seleccionar aquellos más próximos a los datos de malaria, y después hemos comparado estadísticamente sus valores para la época de malaria y la época seca. A partir de estas comparaciones hemos establecido los umbrales de tres niveles de riesgo. Todo el proceso está automatizado de forma que el riesgo se calcula diariamente, a partir de los datos de los ocho días previos mediante una media deslizante y puede consultarse en la web que hemos creado [www.malariawarning.eu](http://www.malariawarning.eu). Es de resaltar que los datos utilizados son datos abiertos que pueden obtenerse sin ningún coste.

Los cálculos se han hecho a nivel provincial. Esto nos ha impedido introducir algunos refinamientos como la altitud (Bodker, R. et al 2003) que esperamos poder incluir en futuros desarrollos. No ha sido posible llegar a un nivel territorial más bajo dada la escasez de datos de malaria a pesar de haberlos solicitado a diversos organismos como hemos mencionado. Pensamos que si podemos ofrecer información, aunque sea a nivel provincial, será más fácil recibir información a cambio que si solamente pedimos, como hasta ahora hemos hecho, ya que nuestro propósito es seguir desarrollando y mejorando el índice que proponemos porque consideramos que puede llegar a ser una herramienta importante en la prevención de la malaria, no solamente en Tanzania sino en otros países.

La idea final es la siguiente: según los responsables y expertos locales, parece claro que la mejor protección contra la malaria es el uso de mosquiteras impregnadas con insecticida (Binka, F. et al 2006), (Selemani, M. et al 2015). Según el Dr Belia Klaassen de la clínica IST de Dar es Salaam el mosquito que transmite la malaria pica de noche, con un máximo alrededor de las diez de la noche (February 16th 2015 Belia Klaassen IST clinic Dar es Salaam

[http://www.istafrica.com/uploaded/documents/WeeklyBulletin/malaria\\_from\\_IST\\_Clinic\\_Feb\\_2015\\_\(2\).pdf](http://www.istafrica.com/uploaded/documents/WeeklyBulletin/malaria_from_IST_Clinic_Feb_2015_(2).pdf)). El problema estriba en que la población es reacia a utilizarlas, aunque el porcentaje de uso parece haber aumentado mucho a partir de la ayuda de los EEUU. Si se pudiera advertir a la población de la inminencia del riesgo, cabe esperar que el uso de las ITN's aumentara. Un índice tal como el que proponemos, diario, de fácil distribución, creemos que puede ser eficaz para esto.

En el segundo capítulo, “La malaria, Tanzania, el marco del problema”, presentamos una descripción algo más detallada del mecanismo de transmisión de la enfermedad al ser humano, así como los problemas que provoca en la sociedad tanzana tal enfermedad: desde la saturación en hospitales hasta el fallecimiento de la población por no tener acceso a los métodos paliativos apropiados.

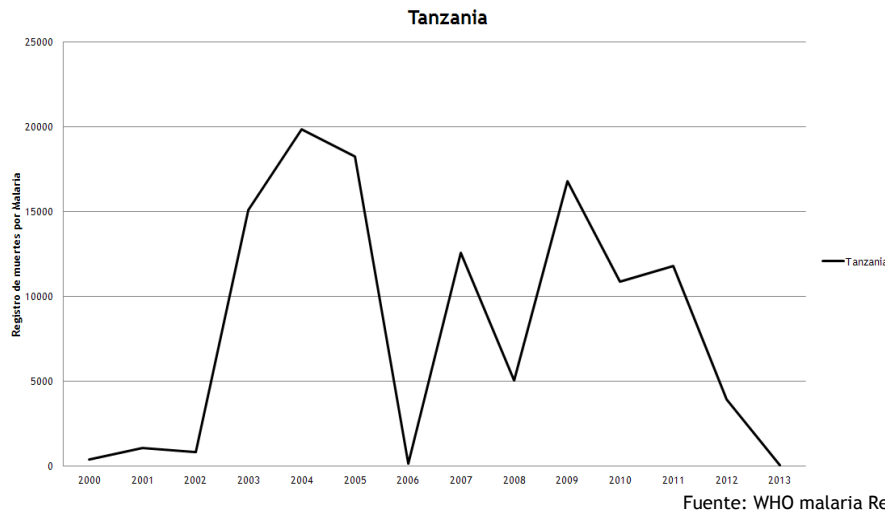
En el tercer capítulo se describen los sistemas de observación espacial utilizados para la obtención de datos y el modelo meteorológico, WRF, utilizado.

En el cuarto capítulo presentamos la base empírica y experimental del trabajo desarrollado. Tras un amplio trabajo de documentación, se han seleccionado una serie de parámetros que han sido considerados como los más importantes durante los brotes epidemiológicos. Todos ellos por separado son, en parte, responsables de que las condiciones para que ocurra un brote epidémico sean las propicias. En este trabajo se ha tratado de ponderar en qué medida influye cada uno de estos parámetros en la aparición de la malaria.

Para evaluar el impacto y la intensidad de la transmisión de la malaria en la salud humana y para predecir los posibles beneficios de la reducción de la transmisión, es importante entender la relación entre la intensidad de la transmisión y la enfermedad. Esta no es una relación simple y se ha sugerido que la reducción de la intensidad de transmisión pueden incluso tener un impacto a largo plazo adverso en la morbilidad y mortalidad por paludismo por obstaculizar la adquisición de inmunidad protectora (Trape, J. et al 1996).

Una vez analizados los parámetros que pueden influir en el desarrollo de la malaria, en el capítulo siguiente se describen los datos de entrada del sistema. Una vez que se adoptan los datos de la OMS como fiables, basaremos la decisión de los años de estudio en ellos. El siguiente gráfico representa los valores de los registros de muerte por malaria en Tanzania de los últimos trece años.

Los máximos se registran en los años 2004-2005 y 2009, por este motivo estos años se van a tener en cuenta en los cálculos. Los años inmediatamente consecutivos a los picos máximos se aprecian descensos en el número de registros, es importante destacar el año 2006, donde tras tres años de valores muy altos, se reduce el número a prácticamente cero. Por contrastar estas diferencias, se tendrán en cuenta a mayores los años 2006 y 2010.



**Figura 6:** Número de muertes por malaria

En el Capítulo 6 se describe cómo, mediante análisis cluster, se han localizado las variables que más influyen en la presencia de malaria y el método seguido para establecer los niveles de riesgo en base a las diferencias entre las épocas con malaria y las épocas secas, sin malaria. Se presentan los resultados para las provincias de Tanzania y se analizan algunos casos que demuestran la fiabilidad del método.

Se han tenido en cuenta cinco tipos de cubierta vegetal, los más abundantes de la zona, y se ha realizado el análisis de los NDVI por provincia, teniendo en cuenta los valores promedios y sus desviaciones típicas así como los valores máximos y mínimos.

En cuanto a las variables meteorológicas, se han utilizado las componentes de la velocidad y la velocidad media del viento, las temperaturas máximas, medias y mínima, la humedad del suelo, la temperatura del suelo, la lluvia y un indicador del impacto de la malaria que va de 0 a 5. 0 Indica que no hay posibilidad de malaria, bien por la falta de lluvias o porque la temperatura está fuera de los límites de vida del vector, y de 1 a 4 corresponden a los datos extraídos de los Informes Anuales de Malaria de los años 2010, 2011, 2012 y 2013 de la OMS.

En el séptimo capítulo presentamos las conclusiones y las aportaciones más importantes de este trabajo. Así, describimos la web [www.malariawarning.eu](http://www.malariawarning.eu), de acceso libre, que hemos desarrollado para el cálculo diario del nivel de riesgo en Tanzania y que se basa en el procedimiento expuesto y, por último se relacionan líneas futuras de investigación que se espera podrán mejorar y ampliar la fiabilidad del método.

Los capítulos 8 y 9 concluyen esta Memoria presentando una lista de definiciones y abreviaturas y las referencias bibliográficas utilizadas. Por último, mostramos en un Anexo un análisis crítico del indicador VCAP de la MEWS



## Capítulo 2.- LA MALARIA, TANZANIA, MARCO DEL PROBLEMA

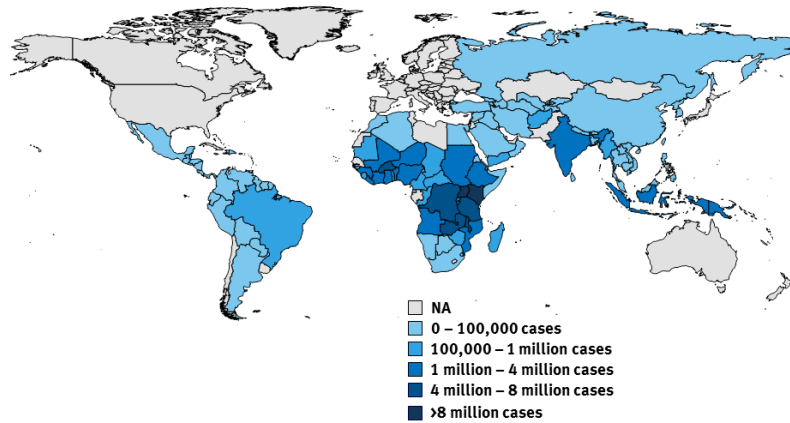
La malaria, una enfermedad que mata cada año a más de un millón de personas es provocada por un parásito que golpea sobre todo al África subsahariana, a la cuenca del Amazonas y algunas regiones tropicales de Asia.

Cada año, la Organización Mundial de la Salud elabora un dossier que recopila todos los datos de casos de malaria en todo el mundo. Los mapas derivados de los datos recopilados, muestran de forma concisa que se trata de un problema de magnitud mundial.

La malaria la causan unos parásitos que se transmiten a los seres humanos a través de las picaduras de mosquitos del género *Anopheles*. Estos, inoculan dos especies de parásitos los cuales son los responsables de la mayoría de las enfermedades y la muerte por malaria, estos son, *Plasmodium Falciparum*, *Vivax*, *Ovalae* y *Malariae*.

En las zonas afectadas por malaria, los niños y las mujeres embarazadas son especialmente vulnerables agravándose los efectos por la pobreza. En África, la enfermedad mata a un niño de cada veinte antes de los cinco años. Es un problema masivo de salud pública ya que se considera endémica en más de 100 países, habitados por unos 3,300 millones de personas.

Los mapas mostrados a continuación pretenden ir posicionando al lector de este trabajo, en el marco del problema de la malaria a nivel global.

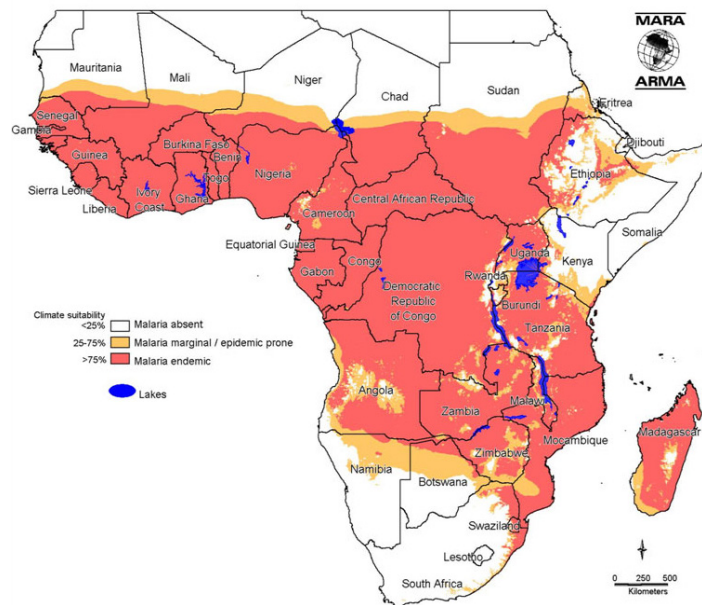


Fuente: Kaiser Family Foundation, basado en WHO, World malaria Report 2012

Figura 7: Casos de malaria notificados en 2011

Brasil, zona central de África y la India, son las zonas donde de manera histórica, la malaria está asentada provocando muertes debidas a los efectos que provoca sobre los seres vivos.

En el 70% del territorio africano, la malaria está declarada como enfermedad endémica.



Fuente: MARA/ARMA collaboration (<http://www.mara-database.org>)

Figura 8: Distribución de malaria endémica en África

Qué es, cual es el proceso biológico de la enfermedad y cuáles son los factores que favorecen la transmisión de la misma, es lo que se trata de explicar a lo largo de este capítulo.

Existen docenas de países en los que la malaria es endémica. Eso convierte la elección de un lugar en el que realizar un estudio en una tarea compleja. Tras analizar las posibilidades de estudio, finalmente, Tanzania ha sido el país seleccionado.

Los motivos quizás no sean evidentes a primera vista, sin embargo, Tanzania cuenta con una serie de condiciones, tanto geográficas como demográficas, que lo convierten en un buen lugar de estudio.

Desde los miles de metros del monte Kilimanjaro, pasando por las extensas masas de agua dulce y una frontera natural, el Océano Índico, son solo algunas de las características que hicieron de Tanzania el objetivo de este estudio. Además, el ya mencionado proyecto FP7 MALAREO (Bauwens I., Spain 2011), se desarrolló en la región transfronteriza del sur de Mozambique, Suazilandia oriental y el noreste de Sudáfrica. Esta es una zona limítrofe con Tanzania, por lo que así se amplía la zona de estudio con un territorio de gran extensión.

Poco después de lograr la independencia de Gran Bretaña en la década de los 60, Tanganica y Zanzíbar se unieron para formar la nación de Tanzania en 1964. La República Unida de Tanzania se encuentra en la costa oriental de África y linda al norte con Kenia y Uganda, al oeste con Burundi, Ruanda y la República Democrática del Congo, al este con el océano Índico y al sur con Zambia, Malawi y Mozambique.

El territorio de Tanzania está claramente dividido en varias regiones, las llanuras costeras, que varían en su ancho y cuentan con una vegetación exuberante y tropical, la llanura Masai en el norte, con una altitud de entre 213 y 1,067 m y la meseta en la región del sur, en la frontera con Zambia y el lago Nyasa (lago Malawi). Más de la mitad del país está cubierto por sabana y zonas boscosas. El resto del territorio, salvo las llanuras del litoral, es semidesértico. Más de 53,000 km<sup>2</sup> están compuestos por agua, en su mayoría lagos del Gran Valle del Rift. Las islas de Zanzíbar y Pemba, situadas a unos 45 km frente a la costa africana, forman también parte de Tanzania.



Fuente: Google Earth

**Figura 9:** Tanzania



## 2.1 La malaria

### 2.1.1 Historia de la malaria

La malaria es una de las enfermedades infecciosas más extendidas en el mundo, al igual que su historia en el tiempo. La enfermedad es causada por cuatro especies del género *Plasmodium*, *P. Falciparum*, *P. Vivax*, *P. Ovalae* y *P. Malariae*.

Teorías actuales sostienen que la malaria surgió en nuestros ancestros primates en África y que evolucionó con los seres humanos, las migraciones, primeros exploradores, misioneros y sobre todo esclavos.

Las fiebres características de la malaria se registran en las civilizaciones chinas en 2700 AC a través de los escritos de griegos, romanos, asirios, indios y médicos europeos hasta el siglo XIX. Los registros más antiguos son de Hipócrates en el siglo V, a partir de ellas, hay un número creciente de referencias a la enfermedad, sobretodo en Grecia, Italia y en todo el Imperio Romano. Durante este período, se hace evidente que la malaria se asociaba a las zonas pantanosas y húmedas (Harrison, G., 1978).

Hasta finales del siglo XIX no hay una conciencia científica de la malaria. Esta empieza a formarse a raíz de la creación de la teoría de los gérmenes y el nacimiento de la microbiología. El descubrimiento del parásito de la malaria y su transmisión, están entre los eventos más importantes de la historia de las enfermedades infecciosas (Bruce-Chwatt et al. 1988).

Los parásitos en la sangre fueron observados por primera vez en 1880 por un cirujano del ejército francés, Alphonse Laveran, el cual investigaba a cerca de la causa bacteriana de la malaria. Enseguida se dio cuenta de que los parásitos eran los responsables de la enfermedad (Laveran, A. 1880). El descubrimiento de que el mosquito actuaba como vector se debió a la intuición de Patrick Manson. Manson ya había demostrado que otros parásitos de la sangre (filarias en concreto) eran transmitidos por mosquitos, en parte debido al conocimiento del ciclo vital de estas enfermedades. Esto le llevó a concluir que la malaria también podía ser transmitida por mosquitos (Manson, P. 1894). Manson fue incapaz de llevar a cabo esta investigación por sí mismo, así que se asoció con Ronald Ross para terminar el trabajo en la India.

En 1897, Ross vio lo que hoy se conoce como ooquistes de *P. Falciparum* en un mosquito del género *Anopheles* que se había alimentado de un paciente con parásitos de malaria en crecimiento, gametocitos (Ross, R. 1897).

En un intento por explicar este descubrimiento, fijó la atención de sus estudios en una malaria de tipo aviar, *P. Relictum*, y explicó todas las fases del parásito en los mosquitos que se alimentaban de gorriones infectados (Kean et al. 1978), (Ross, R. 1898). Al hacer este descubrimiento, Ross reconoció el trabajo de un joven canadiense, William George MacCullum, cuyos estudios sobre el desarrollo de las etapas sexuales de un parásito aviar relacionado *Halteridium Columbae* (*Haemoproteus*) le llevaría a la conclusión de que estos parásitos eran similares a los encontrados en la sangre de los seres humanos con la malaria (MacCullum, W. G. 1898) y (Kean et al. 1978). Los ciclos de vida de *P. falciparum*, *P. Vivax* y *P. Malariae* se describen un año más tarde (Grassi, B. 1900).

Durante otros 50 años, el ciclo de vida de los parásitos en los humanos quedó incompleto a falta de explicar el desarrollo de los mismos durante los 10 primeros días tras la infección ya que no se encontraban en la sangre. En 1947, Henry Shortt y Cyril Garnham, demostraron que el hígado jugaba un papel importante en el desarrollo previo de los parásitos (Shortt et al, 1948). Esta última fase quedó explicada cuando un médico estadounidense, Wojciech Krotoski, en colaboración con el equipo de Garnham, demostró que algunas cepas de *P. Vivax* podrían permanecer latentes durante varios meses en el hígado (Krotoski et al, 1982).

Cada año la Organización Mundial de la Salud, emite un informe completo sobre la malaria en el mundo. Estos informes cada vez son más completos y son muy valiosos a la hora de trabajar con datos de malaria. En estos, únicamente se registran los datos confirmados por cada país, de forma que no es de extrañar que en según qué zonas del planeta estos números puedan ser aún más elevados de lo que recogen estos documentos.

### 2.1.2 Descripción de la enfermedad

La malaria (del italiano medieval “mal aire”) o paludismo (del latín *palus*, “pantano”) es una enfermedad producida por parásitos del género *Plasmodium*.

El agente etiológico es un protozoario del género *Plasmodium* cuya transmisión a los humanos se produce a través de la picadura de un mosquito infectado del género *Anopheles*. Los géneros *P. Falciparum* y *P. Vivax* son las especies responsables del mayor número de de muertes en el mundo.

*P. Falciparum* es el responsable del mayor número de infecciones en el continente africano y es además responsable de los casos de malaria severa de mayor mortalidad (Gupta, S. et al, 1994). Por otro lado el *P. Vivax* es el más prevalente a nivel mundial y aunque solo de forma esporádica suele causar mortalidad (Greenwood, M.B. et al, 2005), raramente se encuentra asociado a casos de malaria grave (Nosten, F. 1999). El resto de clases minoritarias como el *P. Malariae*, están asociados a complicaciones renales y si el paciente no es tratado convenientemente, podrán mantener parasitemia

durante años, mientras que el *P. Ovalae* suele producir una enfermedad caracterizada por recaídas a largo plazo.

El patrón febril de los primeros días de la infección es muy similar al de las enfermedades bacterianas y víricas. La forma más grave provoca un cuadro clínico muy variado que incluye fiebre, escalofríos, sudores y cefaleas. Estos síntomas pueden derivar en ictericia, defectos de coagulación, choque, insuficiencia renal y hepática, encefalopatía aguda, edema pulmonar y cerebral, coma y muerte. Es causa posible de coma y otros síntomas del sistema nervioso central como desorientación o delirio.

El diagnóstico rápido es esencial sobre todo para los casos leves ya que las posibilidades de que aparezcan daños irreversibles de forma repentina es más que probable.

La confirmación del diagnóstico en laboratorio se hace a partir de la existencia de los parásitos del paludismo en una muestra tomada en sangre. Debido a que la densidad de la parasitemia por *P. Falciparum* durante el ciclo asexual es variable, son necesarios estudios microscópicos repetidos. Aun así, de forma habitual, en muchas ocasiones no se demuestra la presencia de los parásitos en personas que recientemente han recibido tratamiento.

Actualmente, varios estudios pretenden descifrar el ADN del parásito en la sangre a través de sondas y técnicas que permiten la identificación visual de interacciones antígeno-anticuerpo específicos. Los anticuerpos, detectables por inmunofluorescencia, parecen después de la primera semana de infección y pueden persistir inclusive durante varios años.

### **2.1.3 Parásitos y vectores**

#### **2.1.3.1 Parásitos**

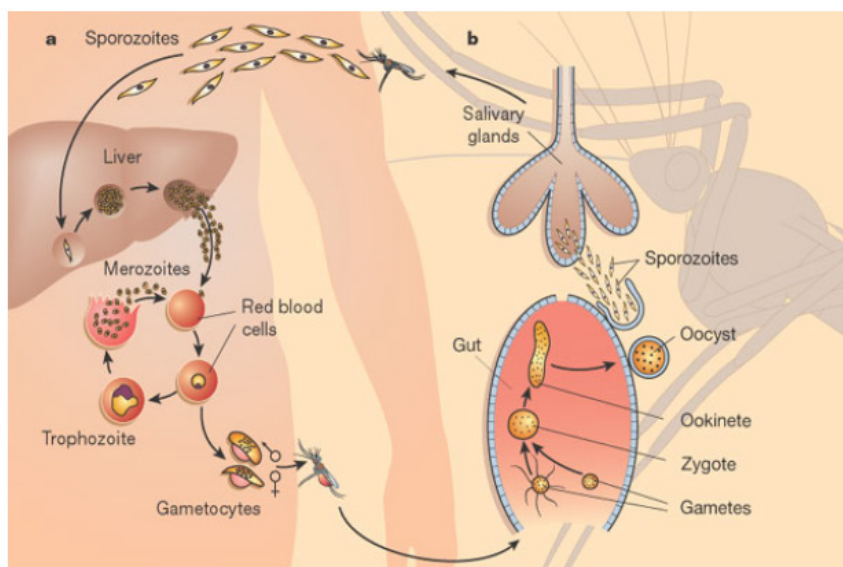
El Protozooario *Plasmodium* es un género de protistas del filo Apicomplexa, clase Aconoidasida, orden Haemosporida y familia Plasmodiidae del que se conocen más de 175 especies (Chavatte, JM. et al, 2007).

Un parásito siempre conlleva dos huéspedes durante su ciclo de vida, un mosquito que actuará como vector y un vertebrado.

El ciclo vital de este tipo de parásitos es muy complejo (Miller, L.H. et al, 2002) siendo esta complejidad debida a que una parte se lleva a cabo en los órganos de huésped intermediario y la otra en el sistema digestivo de los mosquitos hembra de los huéspedes definitivos. A parte, existen también varias formas parasitarias que componen el ciclo de vida, que puede ser resumido como a continuación se describe.

La picadura de un mosquito infectado inyecta en sangre esporozoítos presentes en las glándulas salivales del mosquito. Los esporozoítos migran rápidamente al hígado donde infectan hepatocitos y posteriormente, maduran a una forma parasitaria denominada merozoítos. Estos son liberados de las células hepáticas y pasan a circular en sangre infectando glóbulos rojos. Dentro de estas células, los merozoítos se multiplican y utilizan a los glóbulos rojos para liberar gran cantidad de merozoítos en sangre que, a su vez, infectan nuevos glóbulos rojos. Esta fase se denomina eritrocitaria, ya que el parásito se encuentra dentro de los eritrocitos. Este proceso sincronizado de los merozoítos es responsable de la sintomatología de la malaria, caracterizada por episodios febriles y escalofríos intensos intercalados de periodos asintomáticos. La duración de los periodos asintomáticos caracteriza a la malaria provocada por diferentes especies de casi 48 horas para *Plasmodium Falciparum* hasta aproximadamente 72 horas para *Plasmodium Malariae*. El periodo de incubación de la malaria varía también en relación al parásito infectante pero comúnmente es de 7 a 30 días.

Posteriormente, algunos merozoítos se diferencian en formas sexuadas o gametocitos. Un nuevo mosquito al alimentarse de un individuo infectado ingiere gametocitos (masculinos y femeninos) que después de un proceso de gametogénesis en el lumen del intestino del mosquito se convierten en gametas. Éstas, a su vez, al fecundarse, forman un cigoto que posteriormente se transforma en un oocineto que es la forma móvil que atraviesa la pared intestinal y se aloja en la membrana basal para diferenciarse en un oocisto. Algún tiempo después, estos oocistos, por medio de sucesivas meiosis se convierten en millares de esporozoítos que migran hacia las glándulas salivales donde se encuentran listos para infectar a un nuevo individuo.



Fuente: Adaptación de Dyann F. Wirth, 2002

Figura 10: Ciclo de vida de *Plasmodium Falciparum*

### 2.1.3.2 Vectores

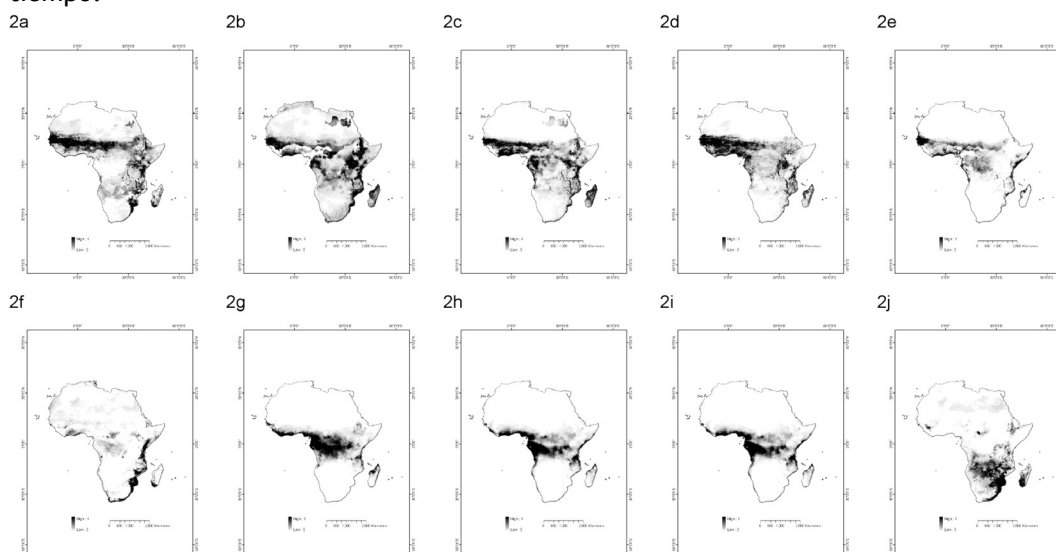
Como ya se ha comentado, los mosquitos del género *Anopheles* son responsables de la transmisión de la malaria a humanos. Existen más de 400 especies de Anophelinos entre los cuales 30 ó 40 transmiten alguna de las cuatro especies de plamodios a humanos. La capacidad vectorial (medida representativa del potencial de transmisión de un patógeno por pate de la transmisión de un mosquito), se relaciona con:

- La densidad de los mosquitos en relación a los hospederos vertebrados.
- La frecuencia con que el vector se alimenta del huésped.
- La competencia del vector para permitir que el parásito finalice el ciclo de vida.
- La duración del periodo de latencia en el vector
- La expectativa de vida del mosquito.

*Anopheles Gambiae* es un excelente vector de la malaria por tres características relacionadas con la capacidad vectorial,

- su alta antropofilia
- su competencia
- su elevada longevidad

Estos motivos permiten al parásito completar el ciclo de vida del mosquito y así asegurar la transmisión a un nuevo individuo. Todas las zonas en las que la malaria es endémica en África, están dominadas por una variedad u otra, o varias al mismo tiempo.

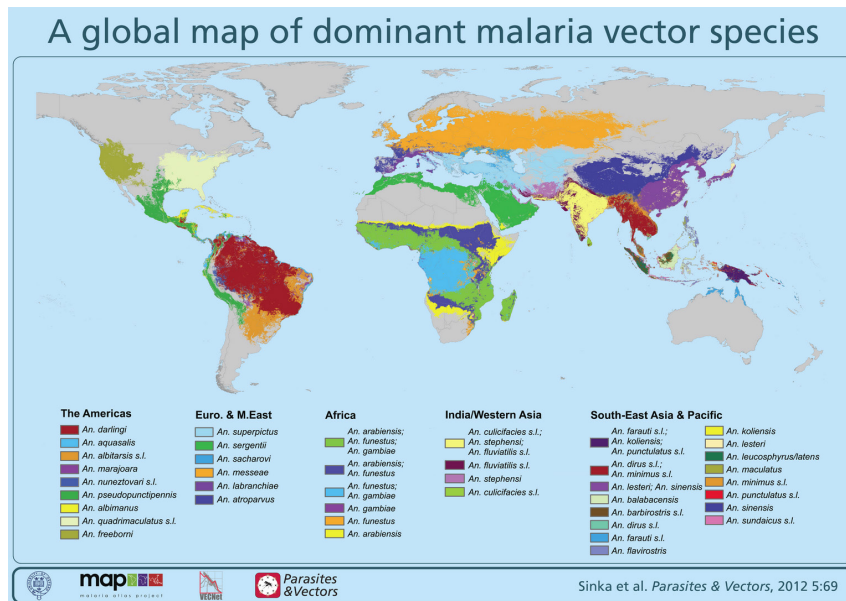


Fuente: malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps Adaptación de Alexander Moffett

**Figura 11:** Distribución de 10 vectores en África: (a) *A. arabiensis*; (b) *A. coustani*; (c) *A. funestus*; (d) *A. gambiae*; (e) *A. melas*; (f) *A. merus*; (g) *A. moucheti*; (h) *A. nili*; (i) *A. paludis*; (j) *A. quadriannulatus*.

El siguiente mapa muestra el conjunto de especies de mosquitos que han sido evaluadas como las más importantes para la transmisión de la malaria en cada zona endémica.

Para ello se utilizaron mapas de predicción para cada especie por separado, incluyendo solo aquellas áreas con una probabilidad de presencia mayor que 0'5. En las zonas donde no estaba claro el predominio de una especie, se fusionaron los mapas de predicción para cada especie dominante (Moffett, A. et al, 2007).



Fuente: Malaria Atlas Project (Sinka, M.E., et al, 2012)

Figura 12: Mapa global de las especies de vectores dominantes en el Mundo

#### 2.1.4 Factores que favorecen el desarrollo y la transmisión de la enfermedad

Entre los factores que favorecen el desarrollo y la transmisión de la enfermedad se encuentra, como actor principal, el clima.

Las condiciones climáticas son las responsables del número y de la supervivencia de los vectores transmisores. La combinación de las precipitaciones, las temperaturas o la humedad relativa, pueden inclinar la balanza del lado de la enfermedad o del lado del ser humano.

Muchos estudios hablan de transmisiones estacionales (Odongo-Aginya, E., 2005), de cómo la intensidad o de cómo la cantidad de lluvia recogida en una región favorece la proliferación de vectores de la enfermedad.

Las epidemias pueden aflorar cuando el clima y otras condiciones favorecen la transmisión de una enfermedad, como la escasa inmunidad de la población de una región o los desplazamientos nómadas o por motivos sociales (guerra, hambruna..., etc) de personas a zonas con transmisión intensa. De hecho en el último año se han registrado en Europa más de 15,000 casos de malaria, debido tanto a la inmigración como a los viajeros y turistas que visitan zonas afectadas de malaria.

La inmunidad es un factor importante consecuencia de años de exposición lo que hace que, aunque nunca sea de forma completa, se reduzca el riesgo de infección. De ahí que la mayoría de las muertes debidas a esta enfermedad se produzcan en niños menores de cinco años.

### **2.1.5 Lucha contra la malaria**

La malaria es un problema tan extendido que pretender su erradicación es complicado y puede ser extremadamente caro. En las comunidades en las que la malaria es endémica, existen grupos dedicados a la educación de la población sobre todo en el plano preventivo.

Entre las actividades más habituales en estas regiones, está la concienciación del uso de redes protectoras anti-mosquitos durante el sueño y tratar de evitar depósitos de agua tanto dentro de las viviendas como en los alrededores de las mismas ya que los mosquitos depositan sus larvas en aguas con poco movimiento. En el caso de las aguas estancadas se intentan potenciar, en la medida de lo posible, los cambios en los cultivos tradicionales, por ejemplo los arrozales, ya que este tipo de cultivos son focos de infección en determinadas estaciones del año.

Es necesario también, que los habitantes de estas regiones aprendan a distinguir los síntomas de la malaria con el fin de que la actuación ante la misma sea lo más temprana posible.

Entre las actividades más efectivas contra la malaria, se encuentran las campañas de insecticidas de forma masiva. Estas campañas pretenden eliminar los mosquitos y las larvas de los mismos antes de que eclosionen utilizando insecticidas de larga duración. El conocimiento del ciclo de vida del mosquito, así como las condiciones de contorno que favorecen tanto su crecimiento como su proliferación, se convierte por tanto en una nueva arma contra la malaria.

## **2.2 Tanzania**

### **2.2.1 Regiones tanzanas**

El país lo conforman 26 divisiones políticas o provincias teniendo en cuenta la zona continental y las islas.



Figura 13: Regiones de Tanzania

Tabla 1: Descripción provincial

ID	Region Name	Postal	Area (km <sup>2</sup> )
1	Mbeya	MB	58549
2	Rukwa	RK	75844
3	Zanzibar South and Central	ZS	873
4	Mwanza	MW	35005
5	Shinyanga	SH	50415
6	Tabora	TB	76666
7	Kagera	KR	39767
8	Kigoma	KM	47497
9	Dar-Es-Salaam	DS	1639
10	Morogoro	MO	68769
11	Kaskazini-Pemba	PN	453
12	Kusini-Pemba	PS	438
13	Pwani	PW	31566
14	Kaskazini-Unguja	ZN	435
15	Zanzibar West	ZW	248
16	Dodoma	DO	42304
17	Iringa	IR	60528



ID	Region Name	Postal	Area (km <sup>2</sup> )
18	Lindi	LI	66416
19	Mtwara	MT	17745
20	Ruvuma	RV	63979
21	Singida	SD	48939
22	Arusha	AS	38610
23	Manyara	MY	45149
24	Kilimanjaro	KL	13059
25	Mara	MA	28551
26	Tanga	TN	27974

La población en cada una de las provincias de Tanzania se muestra en la siguiente tabla. Los datos están ordenados de menor a mayor y como cabía esperar, los valores de población más elevada se encuentran en la zona costera, más concretamente en la ciudad de Dar Es Salaam.

**Tabla 2:** Distribución por densidad de población en las provincias tanzanas

ID	Región	Capital	Distritos	Población	Zona
3	Zanzibar South	Koani	2	115,588	Zanzibar
14	Zanzibar North	Mkokotoni	2	187,455	Zanzibar
12	Pemba South	Chake Chake	2	195,116	Zanzibar
11	Pemba North	Wete	2	211,732	Zanzibar
9	Katavi	Mpanda	3	564,604	Tierras altas del Sur
15	Zanzibar Urban West	Zanzibar City	2	593,678	Zanzibar
1	Njombe	Njombe	6	702,097	Tierras altas del Sur
18	Lindi	Lindi	6	864,652	Costera
17	Iringa	Iringa	5	941,238	Tierras altas del Sur
2	Rukwa	Sumbawanga	4	1,004,539	Tierras altas del Sur
13	Pwani	Kibaha	7	1,098,668	Costera
19	Mtwara	Mtwara	7	1,270,854	Costera
21	Singida	Singida	6	1,370,637	Central
20	Ruvuma	Songea	6	1,376,891	Tierras altas del Sur
23	Manyara	Babati	6	1,425,131	Norte
5	Shinyanga	Shinyanga	5	1,534,808	Lago
5	Simiyu	Bariadi	5	1,584,157	Lago
24	Kilimanjaro	Moshi	7	1,640,087	Norte
22	Arusha	Arusha	7	1,694,310	Norte
4	Geita	Geita	5	1,739,530	Lago
25	Mara	Musoma	7	1,743,830	Lago
26	Tanga	Tanga	10	2,045,205	Norte

ID	Región	Capital	Distritos	Población	Zona
16	Dodoma	Dodoma	7	2,083,588	Central
8	Kigoma	Kigoma	8	2,127,930	Lago
10	Morogoro	Morogoro	7	2,218,492	Costera
6	Tabora	Tabora	7	2,291,623	Central
7	Kagera	Bukoba	8	2,458,023	Lago
1	Mbeya	Mbeya	10	2,707,410	Tierras altas del Sur
4	Mwanza	Mwanza	7	2,772,509	Lago
9	Dar es Salaam	Dar es Salaam	3	4,364,541	Costera

### 2.2.2 Perfil geográfico

Se trata de un país con gran variedad en el paisaje, desde una larga línea de costa hasta la montaña más alta de África, pasando por sabana y una zona en el norte bañada por grandes lagos. Kilimanjaro es el punto más alto de África y una de las únicas dos montañas en el continente que tiene glaciares (el otro es el Monte Kenia).

Bordeado por tres de los lagos más grandes del continente: el Lago Victoria (el segundo mayor lago de agua dulce del mundo) en el norte, el lago Tanganica (el segundo del mundo más profundo) en el oeste, y el lago Nyasa (Lago Malawi) en el suroeste.

Un país de contrastes a la vista de los valores geográficos que se muestran a continuación.

**Tabla 3: Geografía de Tanzania**

Geografía	
<b>Área</b>	
Total	947,300 km <sup>2</sup>
Comparación del País con el Mundo	31
Tierra	885,800 km <sup>2</sup>
Agua	61,500 km <sup>2</sup>
Nota	Incluye las islas de Mafia, Pemba y Zanzíbar
<b>Área comparativa</b>	
Ligeramente más grande que dos veces el tamaño de California	
<b>Fronteras</b>	
Total	3,861 km <sup>2</sup>
Fronteras de Países	Burundi 451 km, RR.DD del Congo 459 km, Kenia 769 km, Malawi 475 km, Mozambique 756 km, Ruanda 217 km, Uganda 396 km, Zambia 338 km
Línea de costa	1,424 km
<b>Demandas en materias marítimas</b>	
Territorio marítimo	12 Millas náuticas
Zona económica exclusiva	200 Millas náuticas
<b>Clima</b>	

<b>Geografía</b>	
Varía de tropical a lo largo de la costa a templado en las tierras altas	
<b>Terreno</b>	
Llanuras a lo largo de la costa; meseta central; tierras altas en el norte, sur	
<b>Extremos de elevación</b>	
Punto más bajo	Océano Índico 0 m
Punto más alto	Kilimanjaro 5,895 m (Punto más alto de África)
<b>Recursos naturales</b>	
Energía hidroeléctrica, estaño, fosfatos, mineral de hierro, carbón, diamantes, piedras preciosas, oro, gas natural, níquel	
<b>Tipos de suelo</b>	
Tierras arables	12'25%
Cultivos permanentes	1'79%
Tierras de regadío	1,843 km <sup>2</sup> (2003)
Otros	85'96% (2011)
<b>Total de recursos hídricos renovables</b>	
96.27 cu km (2011)	
<b>Extracción de agua dulce (doméstica / industrial / agrícola)</b>	
Total	5'18 km cu/año (10%/0%/89%)
Per cápita	144'7 m cu /año (2002)
<b>Riesgos naturales</b>	
Inundaciones en la meseta central durante la temporada de lluvias; sequía	
Vulcanismo	Actividad volcánica limitada; Ol Doi Ny Lengai (Elev. 2962 m) ha emitido lava en los últimos años; otros volcanes históricamente activos son Kieyo y Meru
<b>Medioambiente-problemas actuales</b>	
La degradación del suelo, la deforestación y la desertificación, la destrucción de los arrecifes de coral que amenaza los hábitats marinos; las recientes sequías afectaron la agricultura marginal, la vida silvestre amenazada por la caza ilegal y el comercio, sobre todo de marfil	
<b>Medioambiente - acuerdos internacionales</b>	
Parte en	Biodiversidad, Cambio de Clima, Protocolo de Cambio-Kioto, Desertificación, Especies en peligro de extinción, desechos peligrosos, derecho del mar, de Protección de la Capa de Ozono, Humedales
Firmado pero no ratificado	Ninguno de los acuerdos seleccionados

Fuente: CIA (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/tz.html>)

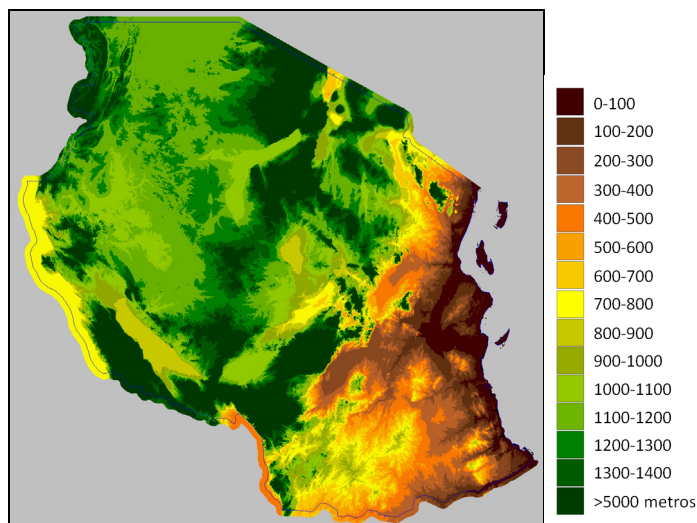


Figura 14: Modelo de elevaciones de Tanzania.

### 2.2.3 Perfil climático

Tanzania se encuentra justo al sur de la línea ecuatorial y tiene un clima tropical, con variaciones regionales debidas a la topografía. Las regiones costeras de Tanzania son cálidas y húmedas, con temperaturas entre 25 y 17 °C durante la mayor parte del año, cayendo justo debajo de 25 °C en los meses más fríos (junio, julio, agosto y septiembre). Las regiones montañosas son más templadas, con temperaturas alrededor de 20°C durante todo el año, variando en sólo un grado más o menos en los meses fríos.

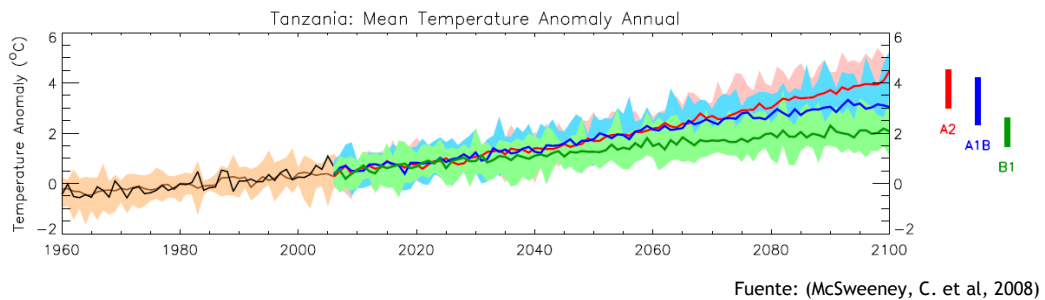
Las lluvias estacionales en Tanzania se deben principalmente a la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que es un cinturón relativamente estrecho de muy baja presión y fuertes precipitaciones que se forma cerca del ecuador. Los cambios ZCIT en el transcurso del año consisten en la migración hacia el sur a través de Tanzania de octubre a diciembre, llegando al sur del país en enero y febrero, y regresando hacia el norte en marzo, abril y mayo. Esto hace que el norte y el este de Tanzania experimenten dos períodos húmedos distintos, las lluvias "cortas" de octubre a diciembre y las lluvias "largas" de marzo a mayo, mientras que las regiones del sur, oeste y centro del país experimentan una estación húmeda que continúa de octubre hasta abril o mayo. Los movimientos de la ZCIT son sensibles a las variaciones en el Océano Índico, sobre todo a la temperatura superficial del mar y varían de un año a otro, por lo tanto, el inicio, la duración y la intensidad de estas precipitaciones varían considerablemente. Una de las influencias oceánicas mejor documentados sobre las precipitaciones en esta región es la de El Niño. Los episodios de El Niño suelen causar mayores precipitaciones que durante la temporada de lluvias cortas, mientras que las fases frías (La Niña) proporcionan sequías.

### 2.1.3.1 Tendencias climáticas recientes

Establecer un patrón climático para una extensión de terreno tan grande y con tales variaciones orográficas es, ciertamente, algo arriesgado. Sin embargo, existen algunos trabajos realizados a partir del estudio de anomalías a corto plazo.

#### Temperatura

A partir de los valores de anomalía algunos estudios son capaces de establecer las tendencias para los próximos 100 años (McSweeney, C. et al, 2008).

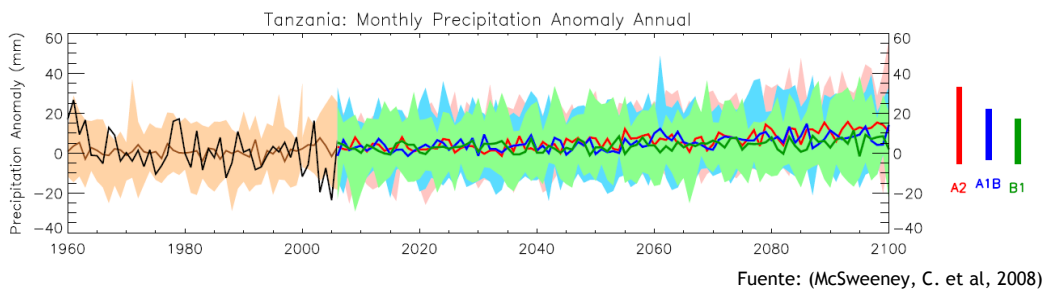


**Figura 15:** Anomalía de la temperatura media anual

El gráfico muestra la tendencia en la temperatura media anual y estacional para el pasado reciente y proyecciones para el futuro. Todos los valores que se muestran son las anomalías, en relación con el clima promedio 1970-1999. Las curvas en negro muestran la media de los datos observados 1960-2006; curvas en marrón muestran la mediana (línea continua) y el rango (sombreado) de modelos de simulación del clima reciente a través de un conjunto de 15 modelos. Las líneas de color a partir de 2006 en adelante muestran la mediana (línea continua) y el rango (sombreado) de las proyecciones del conjunto del clima bajo tres escenarios de emisiones. Las barras de colores del lado derecho de las proyecciones resumen los valores medios 2090-2100.

#### Precipitación

De la misma manera (McSeeney, C. et al, 2008), establecen un posible comportamiento para la precipitación.



**Figura 16:** Anomalía de la precipitación mensual anual

Todos los valores representados son las anomalías, en relación con las precipitaciones 1970-1999.

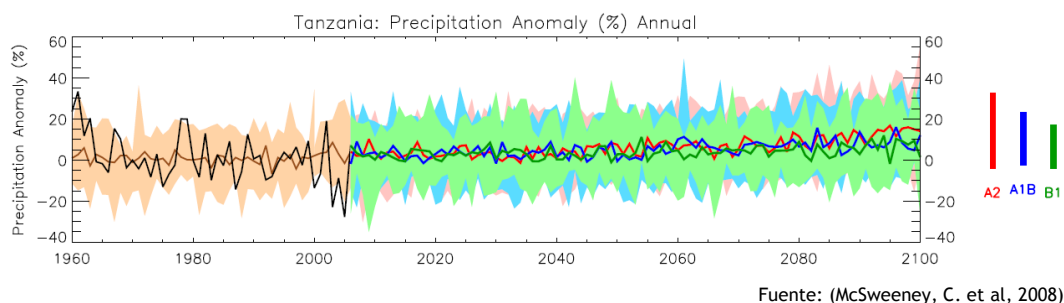


Figura 17: (%) Anomalía de la precipitación anual

## 2.2.4 Perfil demográfico

Nuevamente se podría decir que, demográficamente hablando, Tanzania es un país de contrastes ya que dentro del mismo país se puede encontrar una ciudad desarrollada como la capital y por otro lado, poblados en los límites de la pobreza más extrema. La siguiente tabla resume los datos más relevantes en cuanto a demografía se refiere.

Tabla 4: Población y sociedad

Población y sociedad	
<b>Nacionalidad</b>	
Nombre	Tanzano (S)
Gentilicio	Tanzano
<b>Grupos étnicos</b>	
<u>Zona continental</u> - Africanos 99% (de los cuales 95% son Bantú que están constituidos por más de 130 tribus), otros 1% (Asiáticos, Europeos, y Árabes); <u>Zanzíbar</u> - Árabes, Africanos, mezcla de Árabes y Africanos.	
<b>Lenguas</b>	
Kiswahili o Swahili (oficial), Kiunguja (nombre del Swahili en Zanzibar), Inglés (oficial, lengua principal del comercio, administración y educación universitaria), Árabe (hablada en Zanzíbar), lenguas locales. <b>Nota:</b> Kiswahili (Swahili) es la lengua materna de los pueblos bantúes que viven en Zanzíbar y en las zonas de la costa de Tanzania; aunque Kiswahili es Bantú en estructura y origen, su vocabulario se basa en una gran variedad de fuentes, entre ellas el árabe y el Inglés; se ha convertido en la lengua franca de África central y oriental.	
<b>Religiones</b>	
<u>Zona continental</u> - Cristianos 30%, Musulmanes 35%, Creencias indígenas 35%; <u>Zanzíbar</u> - más del 99% Musulmanes	
<b>Población</b>	
Número	48,261,942 (estimación Julio2013)
Comparación mundial	28

**Población y sociedad**

**Nota:** las estimaciones para este país consideran explícitamente los efectos de exceso de mortalidad debido al SIDA, lo que puede dar lugar a la esperanza de vida más baja, mayor mortalidad infantil, el aumento de las tasas de mortalidad, las tasas de crecimiento de población más bajas, y los cambios en la distribución de la población por edad y sexo.

Estructura de edades	
0-14 años	44'8% (masculino 10,913,552/femenino 10,715,034)
15-24 años	19'4% (masculino 4,689,483/femenino 4,694,663)
25-54 años	29' .3% (masculino 7,095,382/femenino 7,060,506)
55-64 años	3'5% (masculino 721,769/femenino 959,008)
65 años o más	2'9% (masculino 610,252/femenino 802,293) (2013 est.)
Tasa de dependencia	
Tasa de dependencia total	92'5 %
Tasa de dependencia juvenil	86'3 %
Tasa de dependencia senil	6'2 %
coeficiente potencial	16'2 (2013)
Edades medias	
Total	17'3 años
Masculino	17 años
Femenino	17'6 años (2013 est.)
Tasa de crecimiento	
Valor	2'82% (2013 est.)
Comparación mundial	18
Tasa de natalidad	
Valor	37'25 nacimientos/1,000 personas (2013 est.)
Comparación mundial	18
Tasa de mortalidad	
Valor	8'41 muertes/1,000 personas (2013 est.)
Comparación mundial	18
Tasa neta de migración	
Valor	-0'6 emigrantes/1,000 personas (2013 est.)
Comparación mundial	138
Crecimiento de las ciudades	
Población urbana	26'.7% población total (2011)
Tasa de urbanización	4'77% tasa de cambio anual (2010-15 est.)
Principales zonas urbanas - población	DAR ES SALAAM (capital) 3.207 millones (2009)
Proporción de sexos	
Al nacimiento	1'03 masculino(s)/femenino
0-14 años	1'02 masculino(s)/femenino
15-24 años	1 masculino(s)/femenino
25-54 años	1 masculino(s)/femenino
55-64 años	0'75 masculino(s)/femenino

## Desarrollo de un índice de riesgo de malaria en Tanzania

Población y sociedad		
65 años o más	0'76 masculino(s)/femenino	
Población total	0'99 masculino(s)/femenino (2013 est.)	
Edad media de la madre en el primer parto		
19.6		
Nota: Entre mujeres de 25-29 años (2010 est.)		
Tasa de mortalidad materna		
Valor	460 muertos/100,000 nacidos vivos (2010)	
Comparación mundial	22	
Tasa de mortalidad infantil		
Valor	45'1 muertos /1,000 nacidos vivos	
Comparación mundial	49	
Masculino	47'13 muertos /1,000 nacidos vivos	
Femenino	43 muertos /1,000 nacidos vivos (2013 est.)	
Esperanza de vida al nacer		
Valor	60'76 años	
Comparación mundial	190	
Masculino	59'48 años	
Femenino	62'09 años	
Tasa de fertilidad		
Valor	5'01 nacimientos/mujer (2013 est.)	
Comparación mundial	18	
Uso de anticonceptivos		
34.4% (2009/10)		
Gasto en salud		
Valor	7'3% of GDP (2011)	
Comparación mundial	78	
Densidad de médicos		
0'008 médicos/1,000 personas (2006)		
Disponibilidad de camas en hospitales		
0'7 camas/1,000 personas (2010)		
Fuentes de agua potable		
Mejoradas	Urbana	79% de la población
	Rural	44% de la población
	Total	53% de la población
No mejoradas	Urbana	21% de la población
	Rural	56% de la población
	Total	47% de la población
Acceso a instalaciones sanitarias		
Mejoradas	Urbana	20% de la población
	Rural	7% de la población
	Total	10% de la población



Población y sociedad		
No mejoradas	Urbana	80% de la población
	Rural	93% de la población
	Total	90% de la población
VIH/SIDA ratio de prevalencia en adultos		
Valor	5'6% (2009 est.)	
Comparación mundial	12	
VIH/SIDA población viviendo con VIH/SIDA		
Valor	1'4 millones (2009 est.)	
Comparación mundial	6	
VIH/SIDA muertes		
Valor	86,000 (2009 est.)	
Comparación mundial	4	
Enfermedades infecciosas mayoritarias		
Riesgo	Muy alto	
Alimenticias o transmitidas por el agua	Diarrea bacteriana, hepatitis A, y fiebre tifoidea	
Transmitidas por vectores	malaria, dengue, y fiebre de Rift Valley	
Transmitidas por contacto con el agua	schistosomiasis y leptospirosis	
Transmitidas por contacto con animales	Rabia (2013)	
Obesidad - ratio de prevalencia en adultos		
Valor	5% (2008)	
Comparación mundial	156	
Niños menores de 5 años con peso bajo		
Valor	16'7% (2005)	
Comparación mundial	44	
Gasto en educación		
Valor	6'2% of PIB (2009)	
Comparación mundial	34	
Alfabetización		
Definición	15 años o mayores que saben leer y escribir en kiswahili (swahili), Inglés, o en árabe	
Población total	67'8%	
Masculino	75'5%	
Femenino	60'8% (2010 est.)	
Esperanza de vida escolar (primaria hasta la educación superior)		
Población total	9 años	
Masculino	9 años	
Femenino	9 años (2012)	
Trabajo infantil - niños entre 5-14		
Total	2,815,085	
(%)	21 %	
Desempleados entre 15-24		

Población y sociedad	
Valor	8'8%
Comparación mundial	114
Masculino	7'4%
Femenino	10'1% (2006)

Fuente: CIA (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/tz.html>)

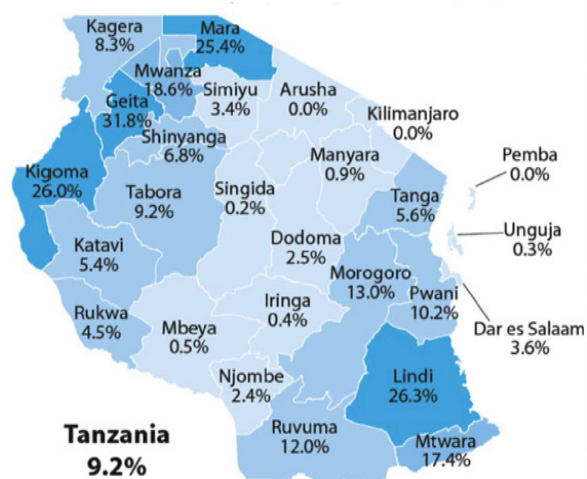
### 2.2.5 ¿Por qué Tanzania?

Queda evidenciado a la vista de las secciones anteriores el motivo por el cual se ha seleccionado Tanzania para el estudio.

Tiene influencia marítima, unos grandes lagos interiores, así como diferentes tipos de suelo. Climáticamente tiene dos estaciones bien diferenciadas: seca y húmeda. En cuanto a la demografía, su población se encuentra con un alto riesgo de enfermedades infecciosas. Médicamente, tiene un alto número de casos por año de infectados por malaria.

En la zona continental, el 93% de la población vive en áreas donde se transmite la malaria, mientras que en Zanzíbar el 100% de la población es propensa a contraer la infección. La transmisión inestable estacional se da en aproximadamente el 20% del país, mientras que la variación estacional se da en otro 20%. El resto de las áreas endémicas de Tanzania (60%) se caracterizan por una transmisión permanente.

El responsable del 96% de las infecciones se debe a *Plasmodium Falciparum* mientras que el 4% se debe a *P. Malariae* y *P. Ovale*. Los principales vectores de la malaria son *Anopheles Gambiae Complex* (*An. gambiae s.s* and *An. arabiensis*). (PMI, 2014)



Fuente: (PMI, 2014)

Figura 18: Prevalencia de la malaria en niños entre 6-59 meses

Todos estos criterios han convertido a Tanzania en el país apropiado para desarrollar este estudio.

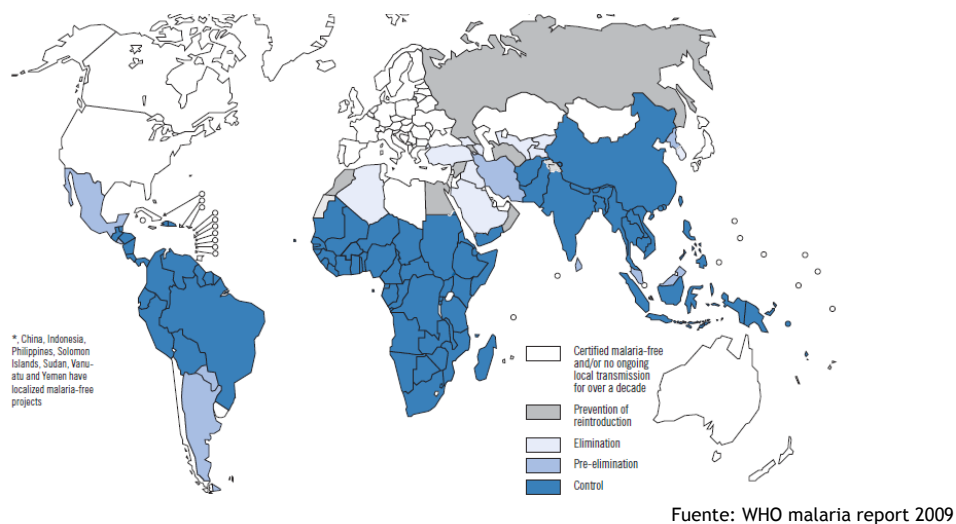
## 2.3 Marco del Problema

### 2.3.1 La malaria en Tanzania, informes de la Organización Mundial de la Salud

Asumiendo como fuente “fiable” los informes anuales de la OMS, se muestra a continuación la evolución de los datos de la malaria desde el año 2009 hasta el 2013.

#### 2.3.1.1 Informes 2009-2013

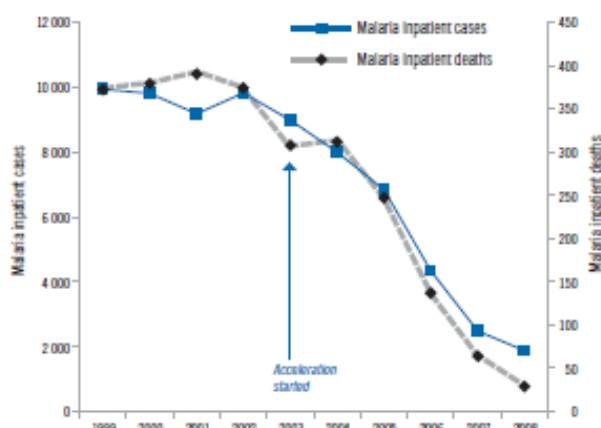
La situación de la malaria en el Mundo en el año 2009 queda resumida en el siguiente mapa. Durante el año 2009, Tanzania se encontraba en fase de control.



**Figura 19:** Países libres de malaria, países donde la malaria es endémica en las fases de control, pre-eliminación, eliminación y prevención

Este mismo documento cifra el número de personas en riesgo en 41,463,923. Un número muy elevado si además se tiene en cuenta que únicamente entre el 6 y el 9 % de la población contaba con una red de protección contra los mosquitos (WHO-MR-2009).

En cuanto a las islas, el siguiente gráfico describe la evolución de los fallecimientos por año entre 1999 y 2008 en siete hospitales en Zanzibar.



Fuente: Ministerio de Salud tanzano

Figura 20: Muertes por año debidas a la malaria.

El descenso en el número de muertes es más que notable durante los últimos 10 años.

Según los registros, la transmisión de la malaria en Tanzania es continua con picos estacionales, siendo la mayoría de los casos causado por *P. Falciparum*. La morbilidad y mortalidad, se ha visto reducida sustancialmente con un descenso del 75% en el número de casos confirmados de malaria durante el 2009 comparado con el periodo 2000-2004.

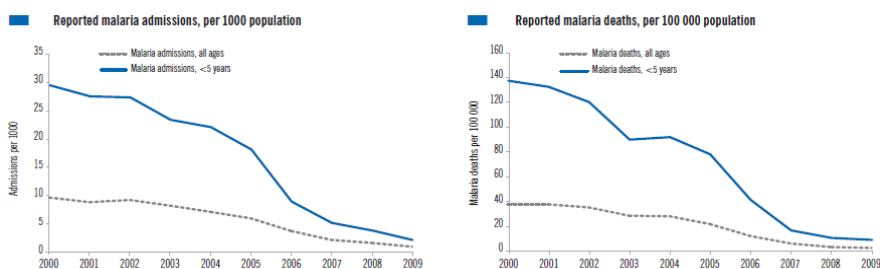
Este descenso, está ligado al uso de redes mosquiteras y las continuas fumigaciones en la zona desde el año 2004.

Tabla 5: Población y perfil epidemiológico año 2009

Población (En miles)	2009	%
Todas las edades	1,321	
Menores de 5 años	235	18
Entorno rural	979	74
Población con malaria endémica (En miles)		
Transmisión alta (> 1 caso por cada 1.000 habitantes)	1,321	73
Baja transmisión (0-1 casos por cada 1.000 habitantes)	0	27
Libres de malaria (0 casos)	0	0

Tabla 6: Vectores y especies de parásitos

Parásitos y Vectores	
Principales especies de Plasmodium	<i>P. Falciparum</i> (100%)
Principales especies de Anopheles	<i>An. Gambiae</i>



Fuente: WHO malaria Report 2010.

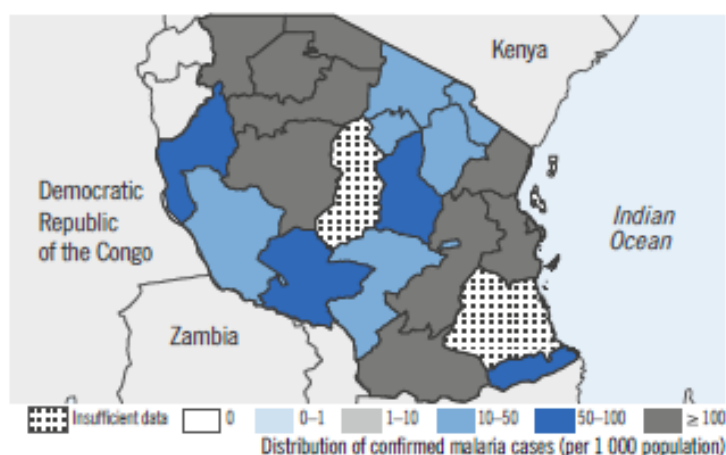
Figura 21: Perfil epidemiológico de los últimos 10 años

A la vista de las curvas el descenso en el número de ingresos por malaria, así como las muertes reportadas, desciende notablemente, posiblemente debido a las múltiples campañas para su erradicación en el país.

A partir del año 2011, incluye datos más concretos que hacen que sea más sencillo entender el problema de salud al que se enfrenta el país.

Tabla 7: Población y perfil epidemiológico año 2010

Perfil epidemiológico		
Población (División de Población de las Naciones Unidas)	2010	%
Transmisión alta (> 1 caso por cada 1.000 habitantes)	31 900 000	73
Baja transmisión (0-1 casos por cada 1.000 habitantes)	11 800 00	27
Libres de malaria (0 casos)	0	0
Total		43 700 000
Parásitos y vectores		
Principales especies de Plasmodium	<i>P. Falciparum</i> (100%), <i>P. Vivax</i>	
Principales especies de Anopheles	<i>An. Gambiae</i> , <i>Arabiensis</i> , <i>Funestus</i>	

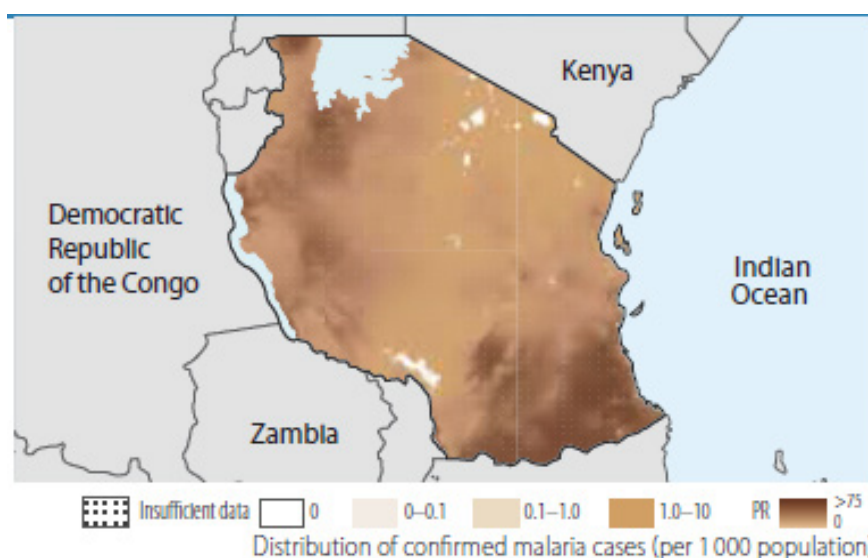


Fuente: WHO malaria Report 2011

Figura 22: Distribución de casos confirmados de malaria (por cada 1000 personas)

**Tabla 8: Población y perfil epidemiológico año 2011**

Perfil epidemiológico		
Población (División de Población de las Naciones Unidas)	2011	%
Transmisión alta (> 1 caso por cada 1.000 habitantes)	32 900 000	73
Baja transmisión (0-1 casos por cada 1.000 habitantes)	12 200 000	27
Libres de malaria (0 casos)	0	0
Total	45 100 000	
Parásitos y vectores		
Principales especies de Plasmodium	<i>P. Falciparum</i> (100%), <i>P. Vivax</i>	
Principales especies de Anopheles	<i>An.ambiae</i> , <i>arabiensis</i> , <i>funestus</i>	

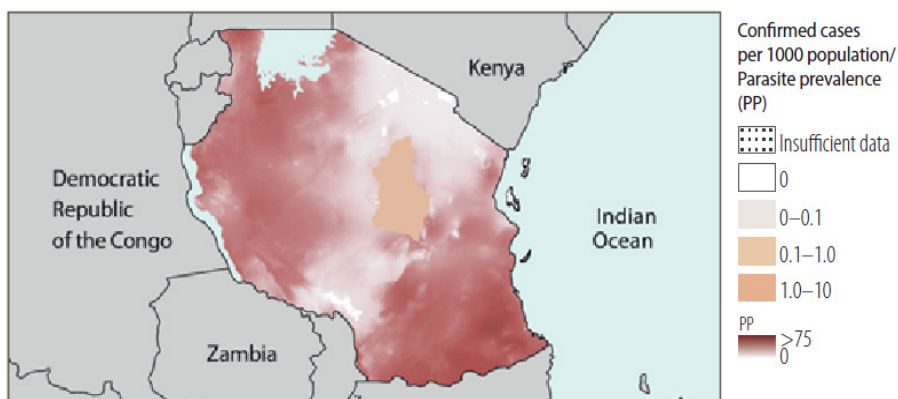


Fuente: WHO malaria Report 2012.

**Figura 23:** Distribución de casos confirmados de malaria (por cada 1000 personas).

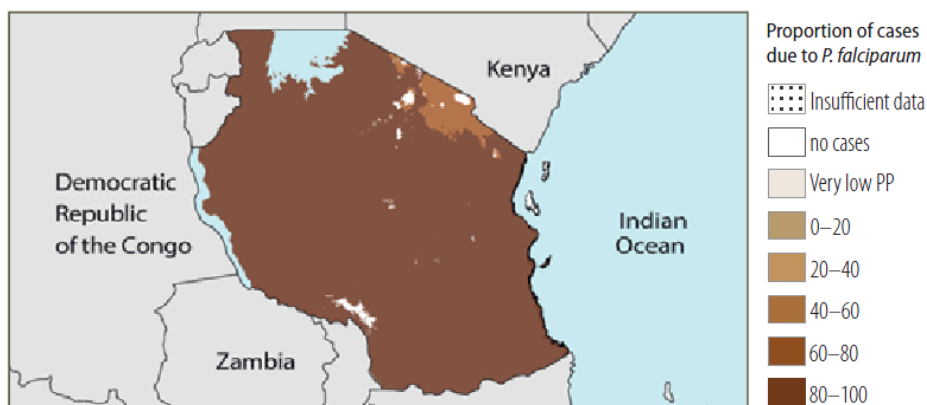
**Tabla 9: Población y perfil epidemiológico año 2012**

Perfil epidemiológico		
Población (División de Población de las Naciones Unidas)	2012	%
Transmisión alta (> 1 caso por cada 1.000 habitantes)	33,900,000	73
Baja transmisión (0-1 casos por cada 1.000 habitantes)	12,500,000	27
Libres de malaria (0 casos)	0	0
Total	46,400,000	
Parásitos y vectores		
Principales especies de Plasmodium	<i>P. falciparum</i> (100%), <i>P. vivax</i>	
Principales especies de Anopheles	<i>An. gambiae</i> , <i>arabiensis</i> , <i>funestus</i>	



Fuente: WHO malaria Report 2013

Figura 24: Número de casos de malaria confirmados por cada 1000 personas/prevalencia de parasitemia (PP)



Fuente: WHO malaria Report 2013

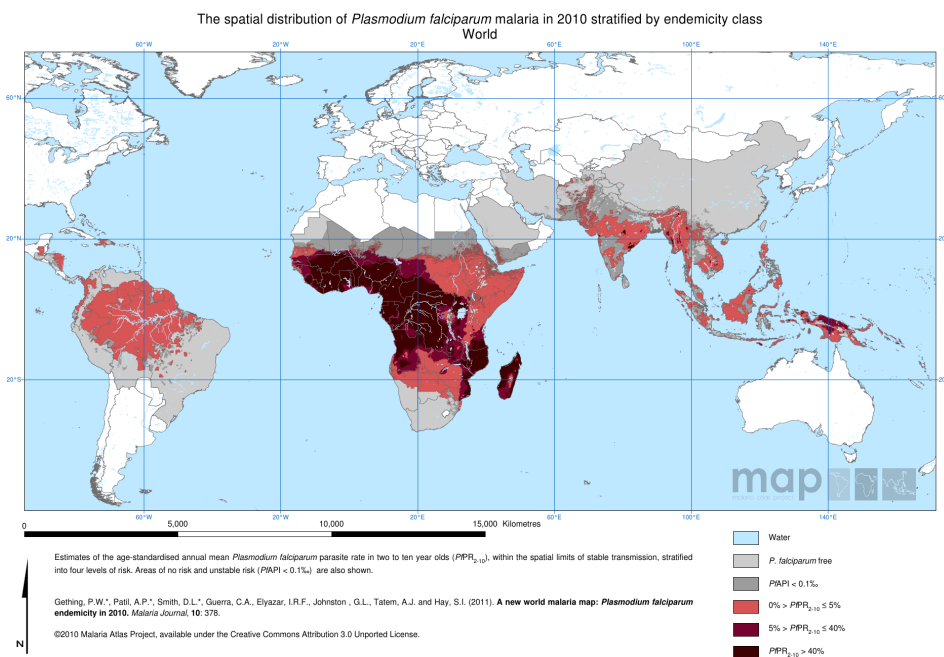
Figura 25: Proporción de casos debidos a *P. Falciparum*

### 2.3.2 Otras fuentes

A la vista de los datos obtenidos de los informes de la OMS queda evidenciado que el vector predominante en la transmisión de malaria en Tanzania es el *P. Falciparum* por lo que se ha establecido el denominado PfPR (*Plasmodium falciparum* Parasite Rate) como el índice más común para reflejar la intensidad de transmisión de malaria, y es la proporción de población que porta parásitos en sangre en la fase asexual. Matemáticamente el PfPR está relacionado con el ratio de inoculación entomológica (EIR) el número de picaduras en una persona por vectores infectados en estado estacionario.

Los mapas siguientes, están referidos a este índice, y están obtenidos del MAP (Malaria Atlas Project). Este es un proyecto que reúne investigadores de todo tipo con

experiencia en diferentes, de profesionales de la salud a matemáticos, geógrafos, epidemiólogos...etc. Todos trabajan en intentar métodos que permitan cartografiar, dentro de lo posible la enfermedad. El objetivo final es producir mapas y estimaciones que apoyen el control de la malaria. Entre los participantes se encuentra la red de investigadores de la salud de Oxford, los cuales son expertos mundiales en medicina tropical.



Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>)

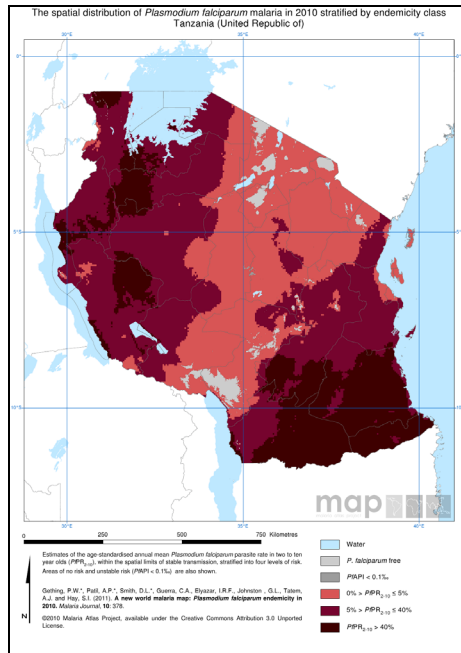
**Figura 26:** Distribución espacial de la malaria producida por *P. Falciparum* en 2010 clasificada según la intensidad endémica

El mapa clasifica el carácter endémico del *P. Falciparum* en niveles de riesgo, dentro de los límites estables de transmisión de malaria.

Las áreas en rosa claro son las que tiene los niveles más bajos de riesgo, donde la media anual entre 2-10 años ( $PfPR_{2-10}$ ) es inferior al 5%. Las áreas en rojo son aquellas con un riesgo intermedio donde  $PfPR_{2-10}$  es mayor del 5% pero inferior al 40%. Las áreas en rojo oscuro son las que tienen el riesgo más altos donde  $PfPR_{2-10}$  excede el 40%. Las clasificaciones no se hacen simplemente estratificando el mapa principal, sino la distribución de probabilidad estimada en cada píxel ( $1\text{km}^2$  aprox.) se utiliza para determinar el nivel 'más probable' de riesgo, sin perder de vista la incertidumbre en la salida del modelo.

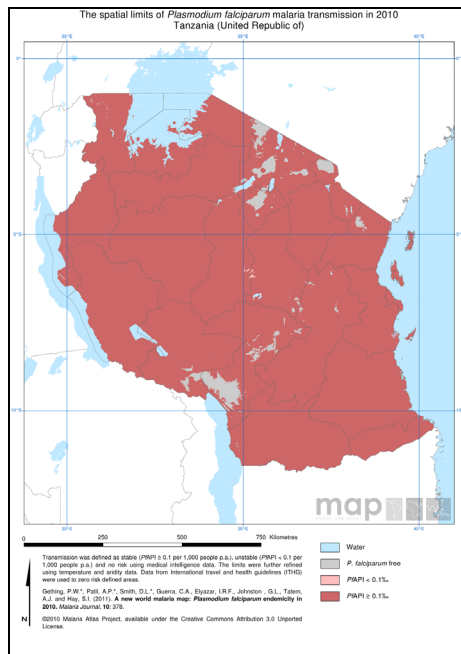
MAP centra sus esfuerzos en algunos países con problemas concretos, entre ellos Tanzania.





Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>).

Figura 27: Distribución espacial de la malaria producida por *P. Falciparum* en 2010 clasificada según la intensidad endémica en Tanzania



Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>).

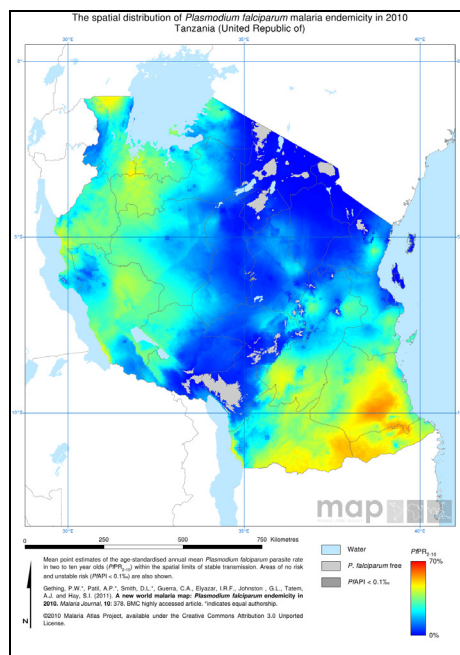
Figura 28: Límites espaciales de transmisión de malaria provocada por *P. Falciparum* en 2010 Tanzania

El mapa muestra los límites estimados transmisión de la malaria provocada por *P. Falciparum*.

Las áreas que se muestran en gris claro son las aquellas con probabilidad de estar libres de riesgo. Esta clase surge porque los sistemas de salud de vigilancia (incidencia anual de casos) han reportado cero casos durante tres años consecutivos, lo que puede ser debido bien a bajas temperaturas o a sequías extremas, lo que provoca que la transmisión no sea posible; o incluso porque existe una suficiencia de medios sanitarios que hace a la zona libre de riesgos.

Las áreas en rosa claro son los que están en riesgo de transmisión de la malaria inestable. Estas áreas son aquellas en las que la transmisión local no se puede descartar, pero los niveles de riesgo son extremadamente bajos, con una incidencia anual de casos reportados en menos de 1 por cada 10,000.

Las áreas en rojo son aquellas en riesgo de transmisión de la malaria estable. Es una clase muy amplia ya que incluye cualquier región donde la población pueda superar el 1 por 10.000 de la incidencia anual de casos.



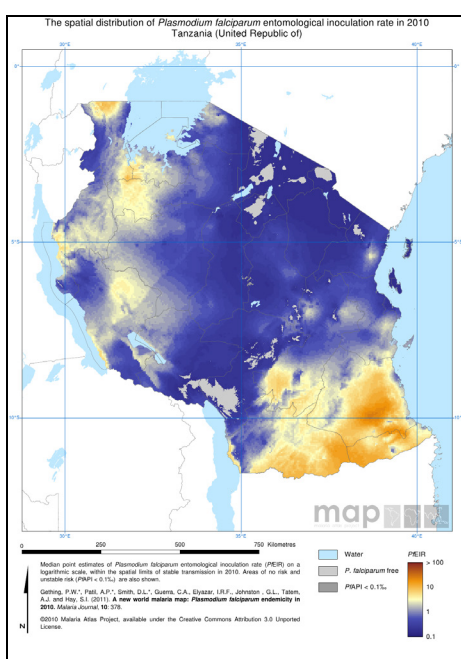
Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>).

**Figura 29:** Límites espaciales de la malaria endémica provocada por *P. Falciparum* en 2010 en Tanzania

El mapa muestra los niveles estimados de malaria endémica producida por *P. Falciparum* teniendo en cuenta los límites de transmisión estable.

La variable asignada es la estandarizada PfPR (PfPR<sub>2-10</sub>), que describe la población entre 2 y 10 años infectados con *P. Falciparum* hasta un momento dado, usando como promedio los 12 meses de 2010.

Las estimaciones se realizan con base a los datos de las encuestas de los tipos de parásitos en un modelo geoestadístico (una distribución de probabilidad). El modelo también utiliza datos de variables ambientales que ayudan a predecir con mayor precisión, especialmente en zonas alejadas de los datos reales de la encuesta. Las variables ambientales incluyen la precipitación, la temperatura, la ocupación del suelo y la situación urbana / rural. Este mapa muestra el valor medio de la distribución de probabilidad en cada ubicación (1km<sup>2</sup> aprox.).

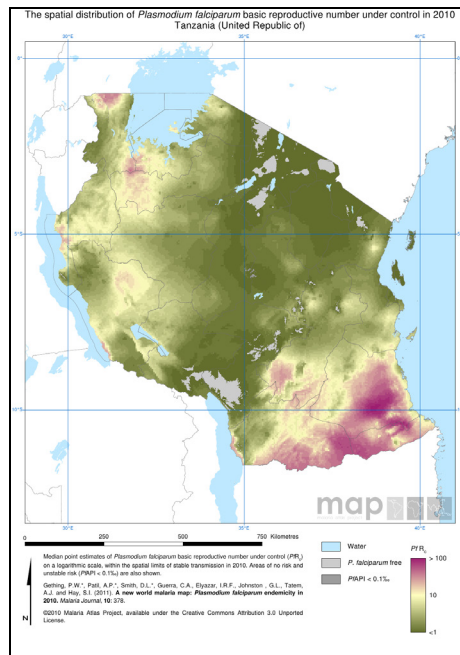


Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>)

Figura 30: Mapa tasa de inoculación entomológica en 2010 en Tanzania

Este mapa muestra las estimaciones de inoculación entomológica (EIR) dentro de los límites de la estabilidad de transmisión del *P. Falciparum*. Ilustra el número de picaduras que se esperan de mosquitos infectados por persona y año.

La escala de colores es logarítmica para permitir una mejor diferenciación a través de la distribución de los valores. Las estimaciones de PfEIR se calculan utilizando datos de la distribución de probabilidad predicha de la prevalencia del parásito (PfPR<sub>2-10</sub>) y la incertidumbre en las estimaciones de prevalencia subyacente y en la parametrización del modelo de transmisión de la malaria. En concreto el mapa muestra la estimación media en cada ubicación (1km<sup>2</sup> aprox.).

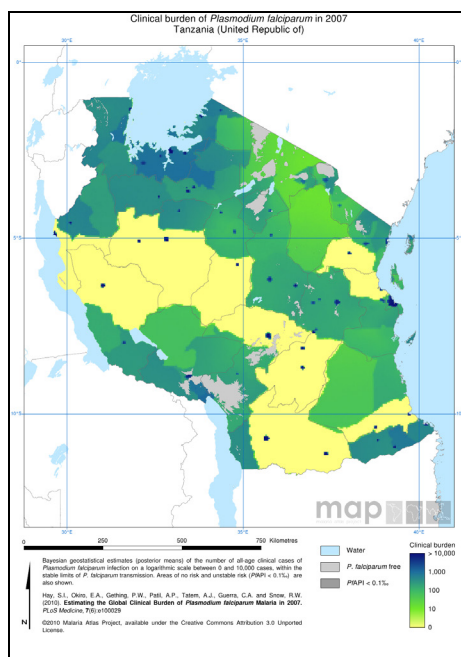


Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>).

**Figura 31:** Distribución espacial de *P. Falciparum* número reproductivo básico bajo control en 2010 en Tanzania

Este mapa muestra las estimaciones del número reproductivo básico bajo control (PfRc) dentro de los límites de transmisión del *P. Falciparum*, lo que demuestra el potencial de propagación de esta enfermedad en una población. De nuevo con escala logarítmica.

Las estimaciones de PfRc son generadas utilizando un modelo de transmisión de malaria que permite describir la relación entre PfRc y la distribución de probabilidad predicha de la prevalencia del parásito (PfPR<sub>2-10</sub>).



Fuente: MAP, Malaria Atlas Project (<http://www.map.ox.ac.uk/>).

Figura 32: Carga médica de Plasmodium falciparum en 2007 en Tanzania

Este mapa muestra la carga médica media predicha de *P. Falciparum* en términos del número de casos clínicos en las personas de todas las edades al año en 5x5km.

Áreas en gris claro son las zonas libre de malaria, mientras que las tonalidades más oscuras muestran un riesgo de transmisión inestable (es decir, la incidencia de casos anuales, en menor de 1 por 10.000). Las predicciones de la carga clínica se basan en un modelo geoestadístico bayesiano que utiliza predicciones de endemividad de malaria (prevalencia), la relación entre la prevalencia y la incidencia clínica, y las estimaciones de población.

## 2.4 Conclusiones

A la vista de los mapas y datos anteriores, parece claro que Tanzania es un lugar ciertamente afectado por la malaria, y en una situación endémica difícil de evitar. Mientras no se consiga una vacuna eficaz que evite la malaria, está claro que solo las tareas preventivas pueden ayudar a la población. Los grandes recursos que actualmente recibe Tanzania permiten aplicar tratamientos con insecticidas, tanto sobre viviendas como sobre mosquiteras. Sin embargo en ocasiones zonas tratadas y en las que la incidencia del parásito parecía haber decaído, han vuelto a ser escenario de fuertes rebotes, quizá debido a la pérdida de eficacia de los insecticidas o quizá debido al descuido de la población en el uso de mosquiteras. Esto está ocurriendo en la región de Kagera, donde ocurrió una fuerte epidemia en 2006 que actualmente renace, debido

según Mr John Mongela, Comisionado Regional, al descuido de la población en el uso de mosquiteras. <http://in2eastfrica.net/kagera-moves-to-control-malaria/>

A pesar de todos estos esfuerzos, más de 60,000 personas mueren al año en Tanzania debido a la malaria, de los que casi el 80 % son niños <http://24tanzania.com/government-plans-malaria-control-strategy-with-local-data/> Lo que significa más de 150 fallecidos diarios. Parece razón suficiente para tratar de colaborar, aunque sea mínimamente, a paliar este problema.

Por tanto, el objetivo de este trabajo consiste en el diseño de un sistema de alerta que pueda advertir a la población de la inminencia de una situación favorable a la acción de los vectores, de manera que sirva de aviso y advertencia para que adopten las medidas preventivas recomendadas.

Para ello utilizamos datos procedentes de satélites y datos meteorológicos generados a partir del modelo regional WRF, y se difundirán a través de la web dedicada <http://www.malariawarning.eu>

## Capítulo 3.- FUENTES DE DATOS

### 3.1 Sensor MODIS

El sensor MODIS vuela a bordo de los satélites Terra y Aqua, los cuales forman parte de la misión EOS de la NASA. Este sensor proporciona una resolución radiométrica de 12 bits en 36 bandas del espectro electromagnético abarcando longitudes de onda entre 0.4 y 14.4  $\mu\text{m}$ . Tiene una capacidad de escaneo de  $\pm 55$  grados en la órbita EOS a 705 kilómetros consiguiendo así unos 2,330 kilómetros de Swath y proporcionando una cobertura global cada uno o dos días.

Estas características convierten a los satélites TERRA y AQUA en los principales proveedores de datos de media resolución. El sensor MODIS, como ya se ha comentado proporciona una gran resolución radiométrica en 36 bandas diseñadas a medida de las necesidades individuales de la comunidad de usuarios. Dos de las bandas proporcionan imágenes con una resolución nominal de 250 metros en el nadir, otras cinco lo hacen a 500 metros y las 29 restantes a 1000 metros.

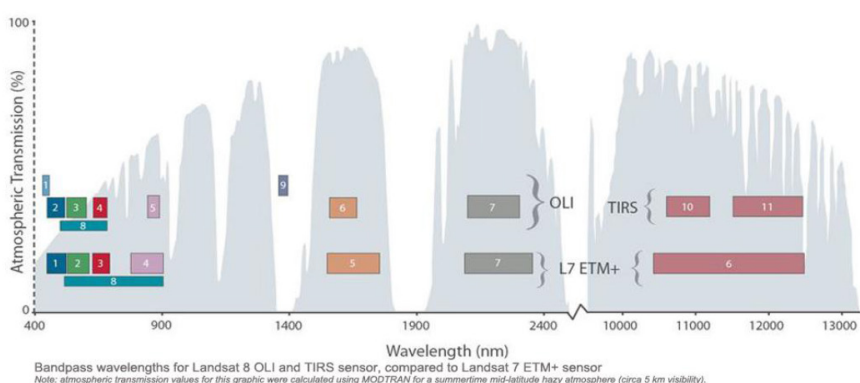
El primer instrumento MODIS, Modelo ProtoFlight o PFM, está integrado en la nave espacial Terra (EOS AM-1), que se lanzó con éxito el 18 de diciembre de 1999. El segundo instrumento MODIS, Modelo Flight 1 o FM1, fue integrado en el AQUA (EOS PM-1) de la NASA, que fue lanzado con éxito el 4 de mayo de 2002. Estos instrumentos MODIS ofrecen una visión sin precedentes de la fenomenología terrestre, la atmósfera y océano. La NASA distribuye libremente las imágenes MODIS, y por ello las hemos utilizado en este trabajo y actualmente son adquiridas automáticamente desde la web [www.malariaia.warning.eu](http://www.malariaia.warning.eu) para generar los índices de riesgo desarrollados en esta memoria.

### 3.2 LANDSAT

El satélite Landsat 8 lleva a bordo dos instrumentos de barrido, un óptico y un térmico. Las bandas espectrales del sensor óptico están mejoradas con respecto a sus predecesores ya que incorpora una banda específica para recursos hídricos, un canal infrarrojo y bandas de control de calidad.

Por otro lado, el sensor térmico, está formado por bandas espectrales en las longitudes de onda de los anteriores sensores TM y ETM+.

La siguiente figura muestra los rangos espectrales de las bandas de Landsat8.



Fuente: USGS, 2014

Figura 33: Rangos espectrales de los sensores OLI y TIRS de Lansat 8

Las imágenes Landsat han sido descargadas directamente de los servidores del U.S. Geological Survey ( <http://www.usgs.gov/>). Estos datos son productos estándar ortorrectificados con las siguientes especificaciones.

Tabla 10: Especificaciones de los productos Landsat8

Procesado	Nivel 1 T de corrección geométrica
Tamaño de pixel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bandas OLI multispectrales 1-7,9: 30 metros</li> <li>Banda OLI pancromática8: 15 metros</li> <li>Bandas TIRS 10-11: resolución origina 100 metros pero se remuestran a 30 metros para que coincidan con las bandas multispectrales de OLI.</li> </ul>
Características de los datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formato GeoTIFF</li> <li>Remuestreo por Convolución cúbica</li> <li>Proyección UTM</li> <li>Datum al Sistema Geodésico Mundial WGS 84</li> <li>Compresión de los valores de pixel 16 bits</li> </ul>
Formatos de entrega	Fichero comprimido .Tar.gz y descarga vía HTTP
Tamaño medio de los ficheros	Aproximadamente 1 GB(comprimido)



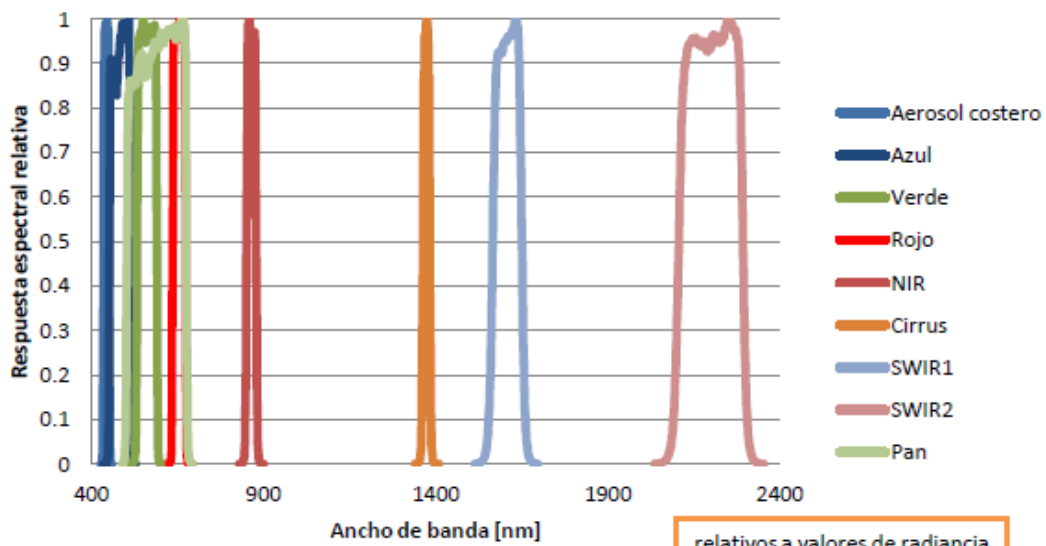
Los tamaños aproximados de cada escena Landsat es de unos 170 km de norte a sur y unos 183 km de este a oeste.

Tabla 11: Distribución de bandas

Landsat 8 Operational Land - Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolucion (m)
	Banda1 - Aerosol Costero	0'43-0'45	30
	Banda2 - Azul	0'45-0'51	
	Banda3 - Verde	0'53-0'59	
	Banda4 - Rojo	0'64-0'67	
	Banda5 - Infrarrojo cercano	0'85-0'88	
	Banda6 - SWIR 1	1'57-1'65	
	Banda7 - SWIR 2	2'11-2'29	
	Banda8 - Pancromático	0'50-0'68	15
	Banda9- Cirros	1'36-1'38	30
	Banda10 - Infrarrojo térmico1	10'60-11'19	100
	Banda11 - Infrarrojo térmico2	11'50-12'51	100

Fuente: USGS,2014

En cuanto a la respuesta espectral de las bandas, la siguiente imagen muestra cada una de ellas.



Fuente: USGS, 2014

Figura 34: Promedio de la respuesta espectral relativa de cada banda.

### 3.3 TRMM (Tropical Rainfal Measuring Mission)

Desde su lanzamiento en 1997, TRMM ha proporcionado medidas de precipitación en las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Debido a que Tanzania se encuentra ubicada en una región tropical, el TRMM puede ser una muy buena solución para la determinación de la precipitación a nivel local.

El Tropical Rainfal Measuring Mission (TRMM) es una misión espacial conjunta entre la NASA y la Agencia Nacional de Desarrollo Espacial de Japón diseñada para monitorear y estudiar la precipitación tropical y subtropical y la liberación asociada de energía. Los instrumentos de la misión son:

- Radar de precipitación (PR)
- TRMM Microwave Imager (TMI)
- Escáner infrarrojo visible (VIRS)
- Nubes y Tierras del Sistema de Energía Radiante (CERES)
- Rayo de sensor de imagen (LSI)

El TMI y PR son los principales instrumentos utilizados para la precipitación. Estos, utilizan un algoritmo combinado que proporciona:

- TRMM Multi satélite Análisis de Precipitación: promedio mensual
- TRMM: diarias y cada tres horas.

El Precipitation Radar (PR) puede ver a través de la columna de la precipitación, proporcionando nuevos conocimientos sobre la estructura de la tormenta tropical. El TRMM Microwave Imager (TMI) mide la energía de microondas emitida por la Tierra y su atmósfera para cuantificar el vapor de agua, el agua de las nubes, y la intensidad de la lluvia en la atmósfera.

Estos datos TRMM están disponibles desde el año 1998 hasta la fecha y son probablemente los productos relacionados con el TRMM más relevantes para la investigación del clima. Ambos están disponibles con 0'25° de resolución espacial y cubren desde 50° Norte hasta 50° Sur (<ftp://trmmopen.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdata/GIS>).

Debido al hecho de que el TRMM se construye con estimaciones de fuentes de datos constantemente variables, es probable que existan inhomogeneidades en los registros temporales por lo que cada campo de la precipitación debe ser interpretado como la mejor estimación de la precipitación en cada punto.

A partir de abril de 2015 existe un producto que completa los datos TRMM con datos de otros satélites, incluidos geoestacionarios, el cual está siendo utilizado en la web "malaria warning"

<ftp://jsimpson.pps.eosdis.nasa.gov/NRTPUB/imerg/gis/early/>

### 3.4 CPC (Climate Prediction Center)

Otra de las fuentes utilizadas es la proporcionada por el CPC (The Climate Prediction Center's) el cual provee predicciones operacionales de variables climáticas, monitoreo en tiempo real del tiempo y las principales anomalías climáticas. Trabaja de escalas de tiempo cortas, semanales principalmente, utilizando datos de estaciones climáticas y abarca la tierra, el océano y la atmósfera.

Estos servicios climáticos están disponibles para usuarios de todo tipo, e incluyen aplicaciones para la mitigación de los desastres naturales relacionados con el clima, soporte para la agricultura, la energía, el transporte, los recursos hídricos o la salud.

Están disponibles en la siguiente dirección web:

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/african\\_desk/cpc\\_intl/africa/africa.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/african_desk/cpc_intl/africa/africa.shtml)

de la cual se pueden obtener datos en función de las necesidades particulares.

Teniendo en cuenta las necesidades de estudio de esta tesis, el tipo de dato del que se ha hecho uso, es la precipitación acumulada cada diez días derivada del análisis de medidas GTS (Global Telecommunications System) que tiene en cuenta tres tipos de datos:

- GPI
- SSM/I
- AMSU

La resolución de los datos es de 0'1° en ambas direcciones.

#### GPI

Es el GOES Precipitation Index (GPI), proporciona datos diarios y mensuales de precipitación. El conjunto de productos forman parte del Global Precipitation Climatology Project (GPCP). Los datos de GPI se estiman a partir de datos de precipitación diaria basadas en infrarrojos, los cuales son productos intermedios del GPCP.

Estos conjuntos de datos son valores medios medidos cada cinco o 30 días con una resolución de 2'5° y diarias con 1°.

La principal fuente de información la proporcionan los satélites en órbita polar y geostacionaria. En cuanto a la calidad de los datos, las estimaciones son válidas para los trópicos pero sobreestima las precipitaciones en zonas con nubosidad persistente.

#### SSM / SSMIS

El Sensor Microwave Imager Especial (SSM/I) y el Sensor Microwave Imager Sounder Especial (SSMIS) son radiómetros de microondas pasivos. Esta serie de instrumentos están siendo gestionados desde el Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP) desde 1987.

Los instrumentos se van numerando a partir de F08. Los utilizados actualmente son: F15, F16, F17 y F18. Las mediciones oceánicas que se derivan de las observaciones del radiómetro incluyen:

- Superficie velocidad del viento
- Vapor de agua atmosférico
- Agua líquida en nubes
- Ratio de precipitación

**Tabla 12:** Numeración del SSM/I

Instrumento	Fecha de activación	Fecha de cierre
F08 SSM/I	Julio 1987	Diciembre 1991
F10 SSM/I	Diciembre 1990	Noviembre 1997
F11 SSM/I	Diciembre 1991	Mayo 2000
F13 SSM/I	Mayo 1995	Noviembre 2009
F14 SSM/I	Mayo 1997	Agosto 2008
F15 SSM/I	Diciembre 1999	presente (no usar después de Agosto 2006 para estudios climáticos)
F16 SSMIS	Octubre 2003	presente
F17 SSMIS	Diciembre 2006	presente
F18 SSMIS	Octubre 2009	presente (Los datos de RSS no están actualmente disponibles)

Los productos del Special Sensor Microwaves/Imager (SSM/I) y Special Sensor Microwave Imager Sounder (SSMIS) se generan como parte del Programa de medidas de la NASA. Los productos de datos SSM/I y SSMIS son generados utilizando un algoritmo unificado, diseñado para recuperar simultáneamente los productos. El algoritmo es producto de 20 años de refinamientos, mejoras y verificaciones, garantizando que el dato final es sólido.

Se realiza un procesado detallado de datos del instrumento SSM/I y SSMIS en dos etapas, la primera etapa produce un producto intermedio el cual está disponible, generalmente, durante la hora siguiente del registro de los datos. Este producto puede estar incompleto o contener errores de geolocalización y las temperaturas de brillo erróneas. Estos errores se eliminan con el procesamiento final, el cual es generado en el plazo de unos días a partir del producto inicial.

Los productos SSM/I y SSMIS incluyen archivos diarios consistentes ascendentes y descendentes y los datos promediados en el tiempo de la siguiente manera:

**Tabla 13:** Archivos de productos oceánicos

<b>Diarios</b>	datos orbitales asignadas a rejillas de 0'25°, los datos se sobrescribirán posteriormente
<b>3- días</b>	Media de 3 días que termina con el fichero de fecha
<b>Semanales</b>	Media de 7 días que termina en sábado
<b>Mensuales</b>	Media de los valores de un mes

Cada archivo de datos binarios disponible, consiste en diez (diario) o cuatro (promedio) mapas de 0'25 x 0'25° de resolución. Para los archivos diarios (descendentes) los mapas tienen el siguiente orden:

- Tiempo (T)
- Velocidad del viento a 10 metros (W)
- Vapor de agua atmosférico (V)
- Contenido líquido de agua en nube (L)
- Intensidad de lluvia (R)

Cada uno de los mapas derivados se suministra para cada instrumento, año y mes correspondiente. Además los ficheros semanales son almacenados por instrumento teniendo en cuenta la siguiente nomenclatura.

**Tabla 14:** nomenclatura de los archivos

Diario	fss_yyyymmddvv.gz
3-Dias	fss_yyyymmddv_d3d.gz
Semanal	fss_yyyymmddv7.gz
Mensual	fss_yyyymmv7.gz

Donde ss, yyyy, mm, dd, y vv se corresponden con:

**Tabla 15:** nomenclatura de los archivos-2

ss	Número del satélite	08, 10,11, 13, 14, 15, 16, 17, 18
yyyy	año	1998, 1999, 2000, etc.
mes	mes	01 (Ene), 02 (Feb), etc.
dd	día	01, 02,...31
vv	versión	rt = tiempo real v7 = versión 7 (producto final)

Estos datos SSM/I and SSMIS son producidos por Remote Sensing Systems, el cual está patrocinado por el programa de NASA Earth Science MEaSUREs y se encuentran disponibles en [www.remss.com](http://www.remss.com).

### **3.5 Modelo WRF (Weather Research Forecasting)**

El Weather Research and Forecasting, WRF en adelante es un modelo numérico de predicción meteorológica y un sistema de simulación, diseñado tanto para la investigación como para aplicaciones operacionales. WRF es una herramienta de uso común para las comunidades universitaria/investigación y comunidades operacionales y que tiene como fin promover vínculos más estrechos entre ellos para hacer frente a las necesidades comunes. El desarrollo de WRF ha sido un esfuerzo de varias agencias para construir un modelo de pronóstico a nivel de mesoescala de siguiente generación y sistema de asimilación de datos para avanzar en la comprensión y predicción del clima acelerando la transferencia de los avances de la investigación en las operaciones.

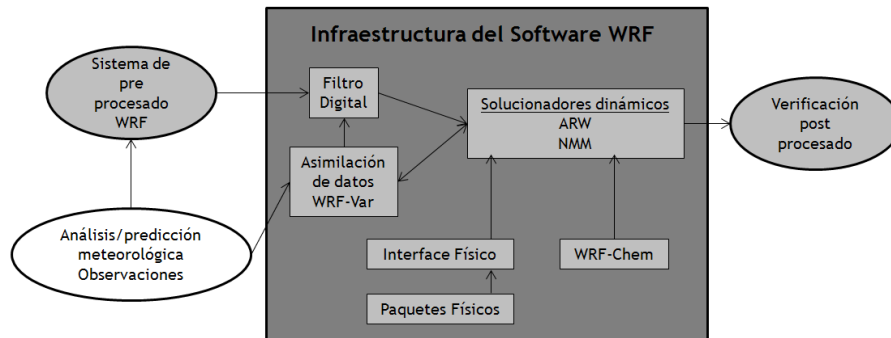
En el desarrollo del WRF han colaborado el National Center for Atmospheric Research's (NCAR) la división de Mesoscale and Microscale Meteorology (MMM), el National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA), National Centers for Environmental Prediction (NCEP) y Earth System Research Laboratory (ESRL). Por otro lado Department of Defense's Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory (NRL), el Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS) y la Universidad de Oklahoma, además del Federal Aviation Administration (FAA) con la participación de científicos universitarios (William C. et al., 2008)

WRF es flexible y perfectamente adaptable, de modo que es eficiente en entornos informáticos que van desde supercomputadoras masivamente paralelas hasta los ordenadores portátiles. Su código modular, de una sola fuente se puede configurar tanto para la investigación como para las aplicaciones operativas. Su espectro físico y sus opciones dinámicas son reflejo de la experiencia y las aportaciones de la comunidad científica en general. Su sistema de asimilación de datos WRF-Var es capaz de ingerir una gran cantidad de tipos de observación partiendo de unas condiciones iniciales óptimas, mientras que su modelo WRF-Chem proporciona la capacidad para el modelado de la química del aire.

Los principales componentes del WRF se describen en la siguiente figura. El WRF Software Framework (WSF) provee una infraestructura que se acomoda con los solucionadores dinámicos, paquetes físicos, programas de inicialización, WRF-Var y WRF-Chem.

Existen dos solucionadores dinámicos en el WRF: el Advanced Research WRF (ARW) (originalmente referido a la Masa Euleriana "em") desarrollado primeramente por el NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) desarrollado por el NCEP. El soporte

comunitario lo proporciona la división MMM del NCAR y para este último, el Developmental Testbed Center (DTC).



Fuente: A Description of the Advanced Research WRF Version 3

**Figura 35:** Componentes principales del sistema WRF

El sistema de investigación avanzado ARW contiene un módulo dinámico, junto con otros componentes del sistema WRF, compatible con el solucionador utilizado en las simulaciones. Por lo tanto, es un subconjunto del sistema WRF que, además del solucionador ARW, abarca esquemas físicos, numéricos/opciones dinámicas, rutinas de inicialización y un paquete de asimilación de datos (WRF-Var). Los paquetes físicos son ampliamente compartidos por el sistema, aunque la compatibilidad específica varía con los esquemas considerados.

Las siguientes líneas se centran en los enfoques científicos y algorítmicos del ARW, incluyendo el solucionador, las opciones físicas, las capacidades de inicialización, las condiciones de contorno, y las técnicas de conexión a la red de anidación. El Foro Social Mundial proporciona la infraestructura de software. Para consultas más detalladas, se puede hacer uso de (Grell et al., 2005) o en <http://ruc.fsl.noaa.gov/wrf/WG11/status.htm>.

Las principales características del sistema de ARW, Versión 3 son:

El solucionador ARW

Compuesto por:

- **Ecuaciones:** Euler no hidrostáticas con una opción disponible de hidrostática en tiempo de ejecución. Conservador de variables escalares.
- **Pronósticos variables:** Componentes de la velocidad  $u$  y  $v$  en coordenadas cartesianas, velocidad vertical,  $w$ , perturbación de temperatura potencial, perturbaciones geopotenciales y presión superficial, perturbación de aire seco. Opcionalmente, la energía cinética turbulenta y otras tales como vapor de agua, proporción de mezcla, la lluvia / la nieve, relación entre de agua / hielo nube, las especies químicas y trazadores.

- **Coordenadas verticales:** presión hidrostática medida verticalmente. La parte superior del modelo es una superficie a presión constante.
- **Red horizontal:** Arakawa C
- **Tiempo de integración:** Tiempo de integración utilizando el 2º o 3º orden del esquema Runge-Kutta con el menor paso de tiempo para ondas acústicas y gravitacionales.
- **Discretización espacial:** 2º o 6º orden de advección en horizontal y vertical.
- **Turbulencias y filtros:** Formulación de turbulencia en escala sub-red en ambas coordenadas y en el espacio físico. Divergencia articulada, filtro de modo externo. Opciones explícitas de filtro.
- **Condiciones iniciales:** Tridimensionales para datos reales.
- **Condiciones de contorno laterales:** Periodicidad, simetría y opciones específicas.
- **Condiciones de contorno superiores:** Adsorción de ondas gravitacionales (difusión, amortiguación Rayleigh o amortiguación Rayleigh implícita). Nivel de presión constante en la parte superior a lo largo de la superficie del material.
- **Condiciones de contorno inferiores:** Física o sin deslizamiento.
- **Rotación terrestre:** Incluidas las condiciones de Coriolis.
- **Mapeo de la esfera:** Existen cuatro proyecciones para simulaciones de datos reales: Polar Estereográfica, Lambertiana, Mercator y Longitud Latitud. Incluye términos de curvatura.
- **Anidación:** Una o dos direcciones interactivas y anidaciones móviles. Múltiples niveles y ratios de integración.
- **Anudado:** Aptitudes de red y observación de anidado.
- **Red Global:** Simulación Global usando filtros de Fourier y condiciones periódicas este-oeste.

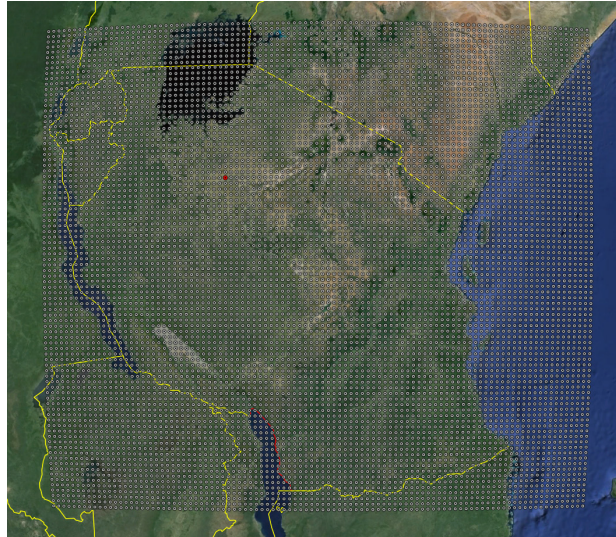
#### El modelo físico

- **Microfísica:** Esquemas que van desde la física simplificada adecuada para los estudios teóricos a la física de fase mixta, a los más sofisticados adecuados para estudios de procesos.
- **Parametrización de Cúmulos:** Esquemas de ajuste y flujo para el modelado de mesoescala.
- **Superficies físicas:** Modelos de la superficie terrestre de múltiples capas que van desde un modelo térmico sencillo a modelos de vegetación y humedad del suelo, incluyendo la capa de nieve y el hielo.
- **Física Planetaria:** Predicción de energía cinética turbulenta.
- **Física de la radiación atmosférica:** Esquemas de onda larga y onda corta con múltiples bandas espectrales y un esquema de onda corta sencilla adecuado para clima y predicciones meteorológicas. Se incluyen los efectos de nubes y los flujos de superficie.



Se trata de un sistema muy compacto y capaz de dar respuestas meteorológicas de escala global, debido a la cantidad de variables con las que cuenta en cada caso.

Para este estudio concreto, se ha diseñado una red de puntos sobre Tanzania, como muestra la figura, con el fin de obtener un valor meteorológico por cada punto cada tres horas.



**Figura 36:** Red de puntos integrados en el modelo WRF

Como es un sistema fácilmente configurable, se han seleccionados las siguientes variables:

- Latitud
- Longitud
- Componente x velocidad media diaria (m/s)
- Componente y velocidad media diaria (m/s)
- Temperatura máxima diaria a 2 metros de altura (K)
- Temperatura mínima diaria a 2 metros de altura (K)
- Temperatura media diaria a 2 metros de altura (K)
- Humedad relativa media diaria (%)
- Humedad del suelo media diaria (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)
- Temperatura media diaria de la superficie del mar (K)
- Lluvia acumulada diariamente (mm)

El sistema WRF, devuelve los valores en dos tipos de formato, imágenes Raster y ficheros de datos.



## **Capítulo 4.- BASE EMPÍRICA Y EXPERIMENTAL**

Como ya se ha señalado, este trabajo pretende desarrollar una herramienta capaz de aportar información sobre la posibilidad o no de que ocurra una epidemia en el país. De esta forma, las autoridades locales podrían contar con información a nivel provincial para poder distribuir las ayudas o advertir a la población.

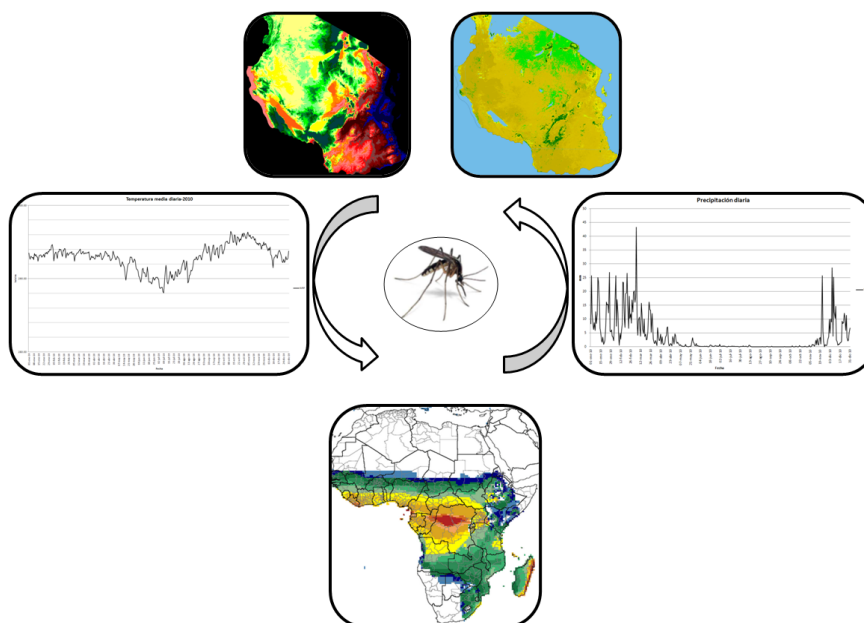
Tras un extenso trabajo de documentación, se han seleccionado una serie de parámetros, los cuales han sido considerados como los más importantes durante los brotes epidemiológicos. En este trabajo se ha tratado de ponderar en qué medida influye cada uno de estos parámetros en la difusión de la malaria, tratando de seleccionar los más destacados.

Para evaluar el impacto y la intensidad de la transmisión de la malaria en la salud humana y para predecir los posibles beneficios de la reducción de la transmisión, es importante entender la relación entre la intensidad de la transmisión y la enfermedad.

### **4.1 Factores de riesgo**

La hembra del mosquito vector transmisor de la enfermedad, necesita sangre para poder producir huevos y asegurar su reproducción, esta sangre la obtiene tanto de animales como de seres humanos. Pocos días después poner huevos en zonas de aguas tranquilas, proliferarán larvas que dará origen a nuevos vectores transmisores en el plazo de 7 a 10 días en función de la temperatura del agua. Si la sangre obtenida por la hembra, proviene de un enfermo de malaria, ésta adquirirá el parásito que infectará a la siguiente persona a la que pique para obtener la sangre.

Mientras más días logre sobrevivir el mosquito, más oportunidades tendrá de incrementar su progenie, ya que pondrá más huevos y de la misma manera, más oportunidades de transmitir la enfermedad. Tres factores climáticos son los responsables de la epidemiología: la temperatura, la lluvia y la humedad relativa (Bauma, 1995).



**Figura 37:** Actores principales de la transmisión de la malaria.

La temperatura afecta a la dinámica de la población en cuanto a longevidad y tasa de picadura y posiblemente también en cuanto a la duración del ciclo del parásito dentro del vector. Por encima de una cierta temperatura, provocará una disminución del periodo de incubación acelerando por tanto el proceso de transmisión (Epstein and Stewart, 1995).

La lluvia y la humedad tienen su influencia en cuanto a la densidad y la longevidad de la población de vectores. La lluvia condiciona la producción y el tamaño de los criaderos. No obstante, en ausencia de lluvias prolongadas, se ha de prestar mayor atención a las orillas de los ríos, ya que si disminuyen los caudales, pueden dar origen a lagunas o charcos que se colonizarán por mosquitos (Bouma et al., 1994).

Tres son las variables climáticas importantes a la hora de tener en cuenta la proliferación y vida de un vector, sin embargo, en este trabajo se van a tener más variables en cuenta con el fin de poder afinar en lo posible la detección de los posibles brotes epidémicos.

Vamos a analizar qué factores podemos considerar como responsables a la hora de establecer una posible alerta ante un brote epidémico.

### 4.1.1 Modelo Digital de Elevaciones

La altitud es una de las defensas más antigua contra la malaria. Ya en el siglo XVI los españoles reportaron la no existencia o la escasez de casos de malaria en el Nuevo Mundo (Curtin, PD. 1989).

El análisis de seis comunidades, basada en el análisis de diferentes tipos de edades así como la exposición a la transmisión de sus habitantes, obtuvo resultados con patrones muy diferentes en poblaciones muy cercanas pero con un desnivel entre ellas desde 300 a los 1700 metros. La prevalencia de parásitos de *P. Falciparum* en niños menores de 10 años descendía a medida que la altitud crecía de forma lineal con un 5% de menores infectados por cada 100 metros de aumento de la altitud ( $R^2=0'96$ ,  $P<0'001$ ) (Bødker, R. et al 2006).

Otros autores, especifican en sus estudios la relevancia de la altitud como factor importante en la disminución de la transmisión de la enfermedad.

(Drakeley, CJ. et al 2005) encuentra una relación negativa con la altitud: 19% y 21% de aumento/disminución en 100 m de altitud, respectivamente, en los niños en Kilimanjaro y Tanga, y precipitaciones durante los 3 meses anteriores a la encuesta (46% de disminución/100 mm de aumento de precipitación en los niños en Kilimanjaro).

A la vista de las investigaciones, parece lógico pensar en la necesidad de conocer el modelo digital de elevaciones de Tanzania con el fin de establecer umbrales de transmisión en función de la altitud.

Parece acertado utilizar un valor de 100 metros de desnivel ya que provocan disminuciones notables en los rangos de transmisión de la enfermedad por lo que se decide hacer una división del terreno de Tanzania y se le dará mayor peso a las zonas más bajas frente a las de mayor altitud.

Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función bi-variable continua  $z=\zeta(x,y)$  donde  $z$  representan la altitud del terreno en el punto de coordenadas  $(x, y)$  y  $\zeta$  es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un modelo digital de elevaciones se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto,  $D$ . En consecuencia, un MDE puede describirse genéricamente como  $MDE=(D, \zeta)$ .

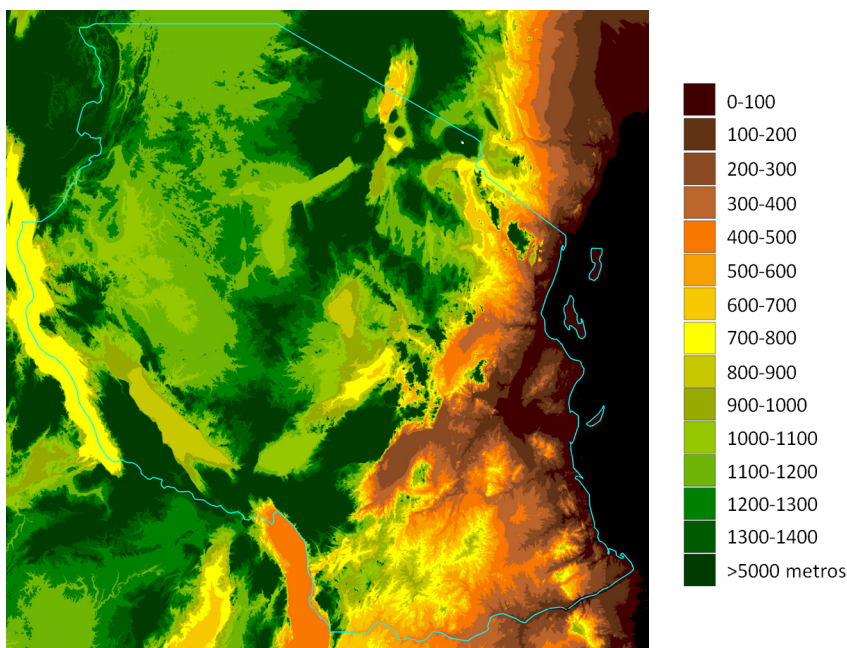
En la práctica, la función no es continua sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDE está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Los valores de  $x$  e  $y$  suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

Para este trabajo se ha seleccionado el Modelo Digital proporcionado por El CGIAR-CSI Geo Portal (Reuter H.I, et al 2007) (Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), <http://srtm.csi.cgiar.org>). Este portal proporciona datos digitales de elevación para el mundo entero con 90 m obtenido a partir de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Los datos digitales de elevación SRTM, producida por la NASA originalmente, son un gran avance en la cartografía digital del mundo y ofrecen accesibilidad de los datos de elevación de alta calidad para una gran parte de los trópicos y otras regiones del mundo en desarrollo. El Modelo Digital de Elevaciones del SRTM tiene una resolución de 90m en el ecuador y se empaqueta en porciones de 5° x 5° para que sea sencillo realizar las descargas. Todos ellos están producidos partiendo de un dato global sin fisuras para que realizar la unión entre ellos sea sencillo.

Los formatos de acceso son Arc-info ASCII y GeoTiff para facilitar la integración GIS y en herramientas comerciales.

El dato descargado tiene formato Geotiff, grados decimales y Datum WGS84. Como mejoras incluye mejoras en la máscara de nubes utilizada, 6000x6000 pixeles por fichero y ficheros de proyección incluidos para los formatos ASCII.



**Figura 38:** Modelo de elevaciones de Tanzania.

La paleta de color ofrece una idea de dónde van a estar los problemas de transmisión más graves si se tiene en cuenta que la altitud trabaja a favor de la disminución de la transmisión de la enfermedad.

### 4.1.2 Cubierta vegetal (Land Cover)

La cubierta vegetal, es la cobertura biofísica de la superficie de terrestre. Las larvas del vector transmisor de la malaria, sobreviven y se desarrollan en una gran cantidad de hábitats diferentes, aunque la mayoría de ellas prefieren agua no contaminada. Se han detectado larvas en pantanos de agua dulce y salada, manglares, campos de arroz, zanjas cubiertas de hierba, los bordes de arroyos y ríos, y pequeñas, charcos...etc. Algunas especies se reproducen en huecos de los árboles o las axilas de las hojas de algunas plantas.

Dar un enfoque a la transmisión de la malaria en función del tipo de suelo podría dar a las autoridades de una región una nueva perspectiva sobre la forma de gestionar los programas de salud. Algunos estudios proponen una clasificación eco-regional basada en la distribución de vectores y los determinantes ambientales importantes, incluyendo el tipo de vegetación, separando cinco grandes grupos: (1), (2) piedemonte costero, (3) sabana, (4) bosques de tierras bajas de interiores, y (5) valles altos (Rubio-Palis, Y. et al 1997).

Con el único propósito de tener en cuenta los usos de suelo susceptibles de albergar larvas de vectores se propone el análisis de cinco tipos de suelo de entre los existentes en Tanzania, estos cinco seleccionados, son los favoritos para la reproducción y el desarrollo de los vectores transmisores de la malaria:

- Bosque de hoja ancha
- Sabana
- Sabana arbolada
- Praderas
- Cultivos y vegetación natural.

Por la solidez del producto, se ha utilizado el producto de cubierta vegetal obtenida a partir del sensor de MODIS, el MCD12Q1, el cual cuenta con una resolución de 1km y es calculado una vez se finalizan todas las adquisiciones de un año. El tiempo medio de cálculo es de aproximadamente un mes (Strahler, A. et al 1999).

El cálculo se basa en cuadrículas de 1kmx1km y tiene en cuenta los siguiente inputs para realizar el cálculo:

- Máscara tierra / agua que restringe la clasificación de regiones de la Tierra y las zonas de aguas superficiales
- Reflectancias ajustadas BRDF Nadir
- Producto derivado MODIS BRDF / Albedo (MOD43B4) en las bandas de MODIS Land (1-7), ajustadas al nadir para el ángulo medio del sol de 16 días

- Textura espacial derivada de la Banda 1 (rojo, 250 metros) en 1000 m de resolución
- Información de Reflectancia direccional a 1km en períodos de 16 días (MOD43B1)
- MODIS Enhanced Vegetation Index (EVI) a 1km en períodos de 16 días (MOD13)
- Cobertura nubosa a 500m en períodos de 8 días (MOD10)
- La temperatura de superficie terrestre a 1 km en periodos de 8 días (MOD11)
- Información sobre la elevación del terreno (MOD03).

Se reconocen 17 categorías de cobertura de la Tierra siguiendo el esquema del Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP). Este conjunto incluye once categorías de vegetación natural desglosadas por la forma de vida, tres clases de tierras desarrolladas y mosaico además de tres clases de tierras sin vegetación.

El desarrollo y validación del algoritmo para el producto de Cubierta Vegetal está basado en una serie de sitios test seleccionados como los representantes de los principales biomas mundiales y tipos de cobertura.

En los análisis de pre lanzamiento los esfuerzos se centraron en las series temporales de Thematic Mapper(TM) y en datos de alta resolución del radiómetro AVHRR, junto con una serie de datos de la cubierta vegetal de resolución fina, localizados principalmente en América del Norte y del Sur.

Durante los análisis post lanzamiento, se utilizaron datos de tierra para entrenar al clasificador y validar los resultados obtenidos. Es un sistema sólido y que proporciona datos muy accesibles sobre la ocupación del terreno a nivel global, sin embargo no se han perdido de vista las posibles limitaciones del producto.

Con estas premisas se han descargado de los servidores de MODIS los siguientes productos:

- MCD12Q1.A2009001.h21v09.005.2011230180132.hdf
- MCD12Q1.A2009001.h21v10'005.2011230180508.hdf

Estos fueron proyectados al epsg: 32736 y fueron unidos en una sola imagen raster continua que representa el mapa de ocupación del territorio de Tanzania.

El resultado se muestra a continuación con su correspondiente paleta de color.



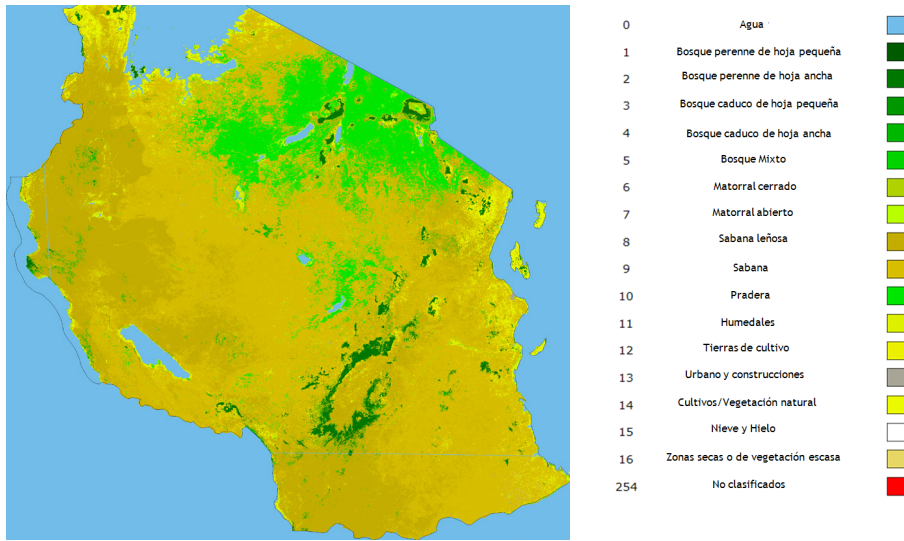
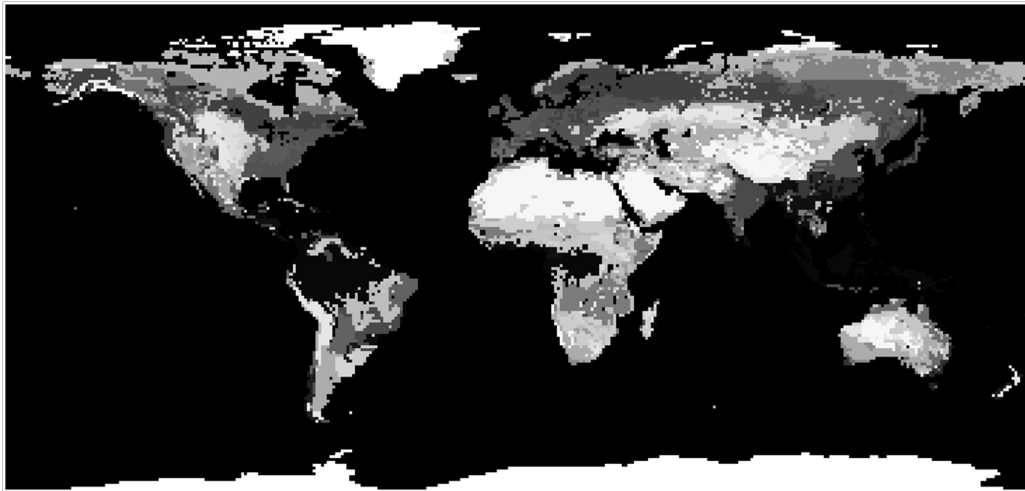


Figura 39: Tipos de suelo de Tanzania.

Otras fuentes de datos consultadas, como por ejemplo IRI. Clasifican los tipos de suelo, en 32 tipos de suelo, tiene una resolución de 1°, menor que la se obtiene con los productos MODIS.



Fuente: IRI, ECOSYSTEMS Matthews vegetation

Figura 40: Tipos de suelo IRI.

#### 4.1.3 Producto NDVI

La vegetación juega un papel muy importante en el desarrollo de las larvas como ya se ha explicado anteriormente. El Índice de Vegetación Normalizado, NDVI, es el índice

más común para las aplicaciones de salud. Este no depende únicamente de la cobertura del terreno sino que también depende de las condiciones atmosféricas, aun así es un buen indicador de la salud de la vegetativa.

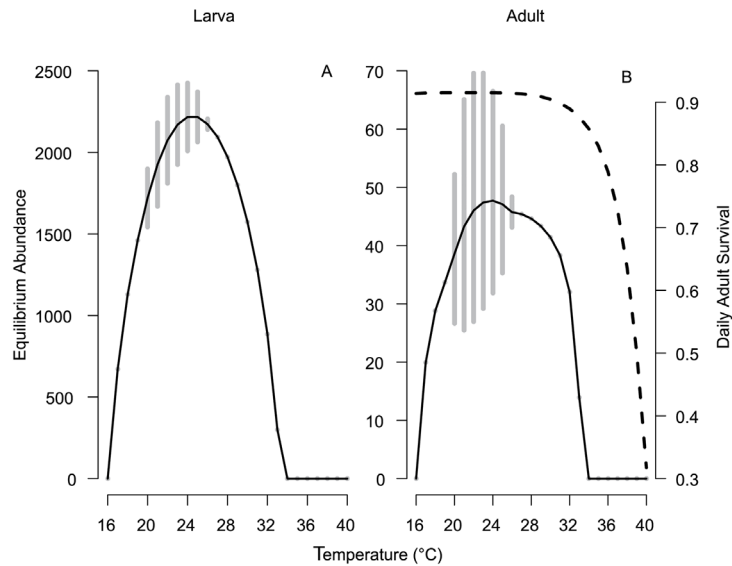
Con el fin de estudiar el estado de la vegetación en Tanzania, se ha hecho uso de un producto derivado de MODIS, el MOD13Q1, que es el producto de reflectancia de la superficie el cual provee una estimación de la reflectancia espectral superficial media a nivel del suelo en ausencia de influencias atmosféricas. Los datos de nivel más bajo están corregidos para gases atmosféricos y aerosoles, sirviendo como base para los niveles superiores.

El producto MOD13Q1 provee las bandas 1 y 2 con 250 metros de resolución cada 16 días y con proyección sinusoidal. Cada pixel del producto MOD13Q1 contiene la mejor observación del periodo de los 16 días, menor ángulo de visión, ausencia de nubes y sombras, carga de aerosoles. En concreto se ha hecho uso de los datos proporcionados por la Versión-5 MODIS/TERRA.

#### **4.1.4 Temperatura de superficie**

La transmisión de la malaria está fuertemente ligada a la temperatura ambiental aunque sin embargo esta relación no está todavía resuelta. Los mosquitos y parásitos no sólo están expuestos a la temperatura media, sino también a las variaciones de la temperatura diaria. Recientemente, trabajos teóricos han demostrado que además de las temperaturas medias, las fluctuaciones diarias de temperatura pueden afectar las características de mosquitos y parásitos determinando así la intensidad de la transmisión de la malaria. Sin embargo, hasta ahora no hay evidencia epidemiológica a nivel de la población de este problema (Zhao et al. 2014).

Muchos son los estudios que pretenden hacer la caracterización de la vida de los vectores transmisores en función de la temperatura (Beck-Johnson, L. et al 2013).



**Figura 41:** Abundancia de Larvas y adultos. (A) La abundancia de larvas con respecto a la temperatura con densidad exponencial. (B) La abundancia de los adultos (línea sólida, eje izquierdo) y la supervivencia diaria (línea discontinua, eje derecho) con respecto a las temperaturas. La representación de las barras grises en ambas gráficas son las abundancias estables y cíclicas respectivamente. La línea sólida que conecta los puntos es la media de la abundancia con respecto de la temperatura. doi:10.1371/journal.pone.0079276.g002.

La temperatura de superficie (LST en adelante) puede ser estimada a partir de las bandas infrarrojas de diferentes satélites. Sensores como, MODIS-Terra, Meteosat, GEOS, AVHRR, proveen imágenes de temperatura, tanto diurnas como nocturnas.

Las imágenes de LST correlacionan muy bien con la temperatura del aire, siempre teniendo en cuenta que los cultivos, humedad y las condiciones atmosféricas introducen aberraciones (Connor et al., 1997) (Vancutsem et al., 2010).

Sin embargo, algunos estudios han comparado los resultados de imágenes LST con datos de suelo a partir de interpolaciones con resultados de estaciones meteorológicas concluyendo que la media anual de LST se corresponde con la temperatura en África en un rango de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  (Hay and Lenon, 1999).

Otros autores encuentran una correlación significativa entre la temperatura de superficie y las observaciones entre África y Europa, con un error cuadrático medio de aproximadamente  $2^{\circ}\text{C}$  (Green and hay, 2002), por lo que se puede asumir, que la temperatura de superficie es suficientemente efectiva para realizar un seguimiento de la enfermedad.

Teniendo en cuenta esta premisa, se han realizado una serie de cálculos con diferentes fuentes con el fin de determinar la temperatura de superficie de Tanzania. En concreto, dos han sido las fuentes de estudio principales: por un lado el sensor MODIS a

través de los productos MOD11A1 diarios y otro a través de una serie de cálculos realizados a partir del WRF.

#### 4.1.4.1 Temperatura de superficie MODIS

La temperatura de superficie o LST (Land Surface Temperature) es un buen indicador de la física de los procesos en la superficie terrestre tanto a nivel regional como a escala global. Combina los resultados de las interacciones de la superficie terrestre con la atmósfera y los flujos de energía entre la atmósfera y el suelo (Mannstein, 1987; Sellers et al., 1988). Es decir, es importante para variables climáticas, hidrológicas, ecológicas y estudios biogeoquímicos (Camillo, 1991; Schmugge y Becker, 1991; Zhang et al., 1995).

Los datos de temperatura de la superficie del suelo obtenidos por MODIS, son útiles para estimar el flujo de calor sensible (Vining y Blad, 1992), o para estimar los flujos de calor sensible y latente (Kimura y Shimiru, 1994), así como para mejorar los modelos del balance energético de la superficie terrestre (Diak y Whipple, 1993; Crag et al., 1995). De la misma forma, los modelos de simulación de transferencia radiativa basados en los datos de temperatura de superficie observados, muestran una correlación positiva entre el efecto invernadero y la temperatura de la superficie (Sinha, 1995).

En agricultura, la temperatura de superficie, puede ser también utilizada para evaluar las necesidades de agua en el trigo (Jackson et al., 1977), para determinar las heladas en los naranjales (Caselles y Sobrino, 1989) y la zona dañada por las heladas (Kerdiles et al., 1996). La especificación de precisión para MODIS LST es 1 K a una resolución de 1 kilómetro en condiciones de cielo despejado.

La especificación de precisión para la emisividad de la superficie de la Tierra extraída de datos MODIS es de 0'02 para las bandas de 29, 31 y 32, y 0,05 para las bandas de 20, 22 y 23 (Oficina de Apoyo Procesamiento de Ciencias del Sistema Terrestre de Observación de salida Data Products y requisitos de entrada, versión 2.0, Goddard Space Flight Center, agosto de 1992). Tras la calibración, los datos de temperatura MODIS son válidos para mediciones en tierra con una precisión de 0'5 K.

El programa internacional Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) ha especificado la precisión de la temperatura superficial del mar (TSM) de 0'3 K como requisito para los modelos numéricos globales del clima. En comparación con la precisión de aproximadamente 0'7 K alcanzado por el MODIS LST ATBD, Versión 3.3 6 instrumentos AVHRR de los satélites NOAA (McClain et al., 1985; Barton et al., 1989), estas precisiones especificadas para SST y LST en EOS representan grandes mejoras en los desarrollos de diseño de sensores y algoritmos.

La descripción teórica completa del algoritmo se puede consultar en el documento MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD)

Version 3.3 Contract Number: NAS5-31370 ZHENGMING WAN Institute for Computational Earth System Science University of California, Santa Barbara en las páginas 6-57.

El producto de temperatura de la superficie MODIS/Terra y de emisividad (E/LST), proporcionan valores de temperatura y emisividad para cada pixel. El producto de 1 kilómetro ajustado a una cuadrícula MODIS/Terra LST/E Diario L3 Global (MOD11A1) tiene proyección sinusoidal.

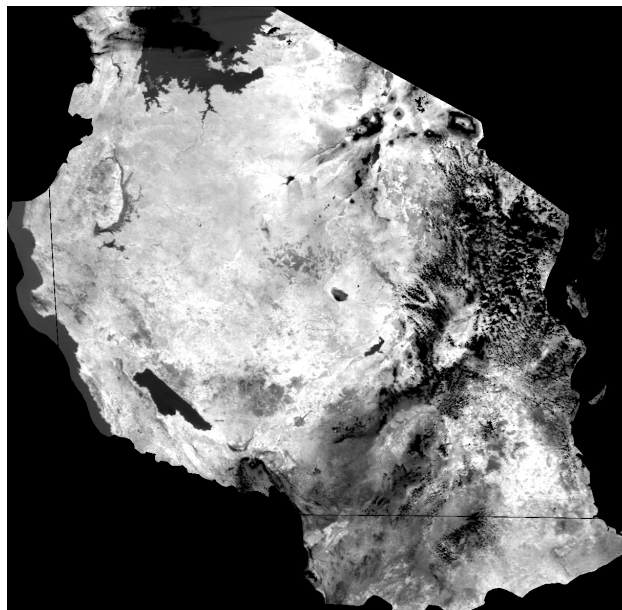
Para obtener los valores de temperatura de Tanzania, se realizó una descarga de los datos mediante una petición a través de la herramienta de búsqueda de NASA (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>).

Esta herramienta permite realizar búsquedas basadas en fechas y productos, así como en localizaciones específicas. Teniendo en cuenta estas premisas y los parámetros descritos en la siguiente tabla:

**Tabla 16:** Criterios de búsqueda LST

<b>Fecha</b>	01 de Enero a 31 de Diciembre(2005- 2010)
<b>Grupo</b>	Terra land Level 3/Level 4 Daily Tiled LST Products
<b>Producto</b>	MOD11A1 Level 3 Daily Land Surface Temperature/Emissivity - 1km
<b>Colección</b>	5- MODIS Collection 5 -L1, Atmos and Land
<b>Selección espacial</b>	H20V09-H21V09-H21V10

Los productos fueron reescalados usando el software ENVI y fueron mosaicados y enmascarados para obtener la imagen continua de Tanzania.



**Figura 42:** Producto LST MODIS de Tanzania para el año 2010

#### 4.1.4.2 Temperatura de superficie WRF (Weather Research and Forecasting)

Con la configuración propuesta en el apartado 3.4.5 se han obtenido los valores de temperatura a partir del modelo WRF para los años entre el 2005 y el 2014, día a día y cada tres horas.

Representando los datos de temperatura a lo largo de un año es muy sencillo y permite apreciar las variaciones así como los valores anómalos.

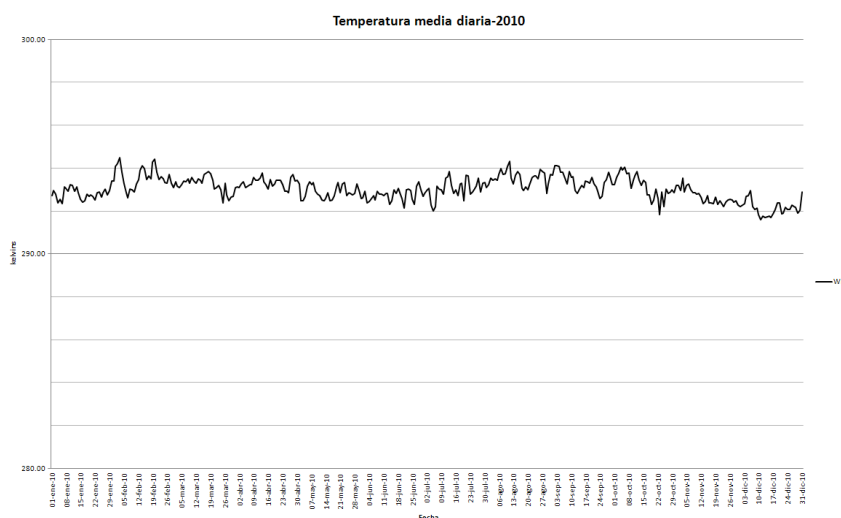


Figura 43: Temperatura media diaria del año 2010 para la región de Kagera en Tanzania.

#### 4.1.5 Precipitaciones

Las precipitaciones son una influencia espacio-temporal muy importante para el afloramiento de nuevos vectores y puede ser más que determinantes para la supervivencia de los mismos siempre y cuando sean capaces de crear un microclima de humedad favorable.

El satélite Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM; <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>) es capaz de proveer medidas de precipitación en tiempo real en áreas tropicales basadas en medidas de microondas pasivas y de radar que se acercan mucho a las medidas de pluviómetros de suelo (Barros et al., 2000).

Con el fin de determinar la precipitación sobre Tanzania, se han obtenido las precipitaciones de diferentes plataformas. A partir de los cálculos diarios, se ha pretendido comparar cuál de las medidas es la más acertada así como cuál es la más propicia para determinar la supervivencia de los vectores.

A continuación se detallan los cálculos y resultados obtenidos.

#### 4.1.5.1 Precipitaciones de WRF (Weather Research and Forecasting)

El sistema ha quedado descrito en la sección 3.4.5 por lo que aquí simplemente mostramos alguno de los resultados obtenidos para la precipitación diaria.

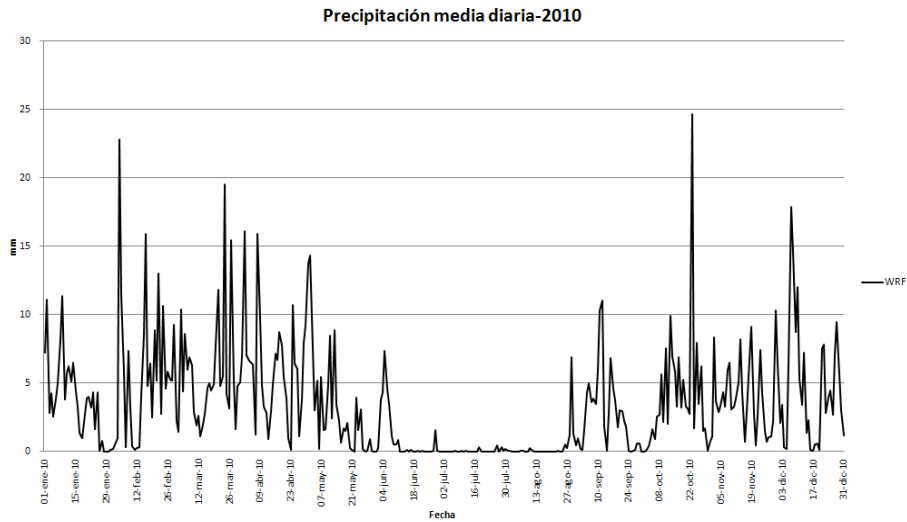


Figura 44: Precipitación media diaria del año 2010 para la región de Kagera en Tanzania obtenida a partir de los datos obtenidos del WRF.

#### 4.1.5.2 Precipitaciones del Climate Prediction Center (CPC)

Derivados del CPC se han extraído los valores de precipitación, los cuales se sirven empaquetados en ficheros de diez días El resultado es una serie de imágenes raster con una resolución de 1°, la cual es quizás muy alta para el propósito de este trabajo.

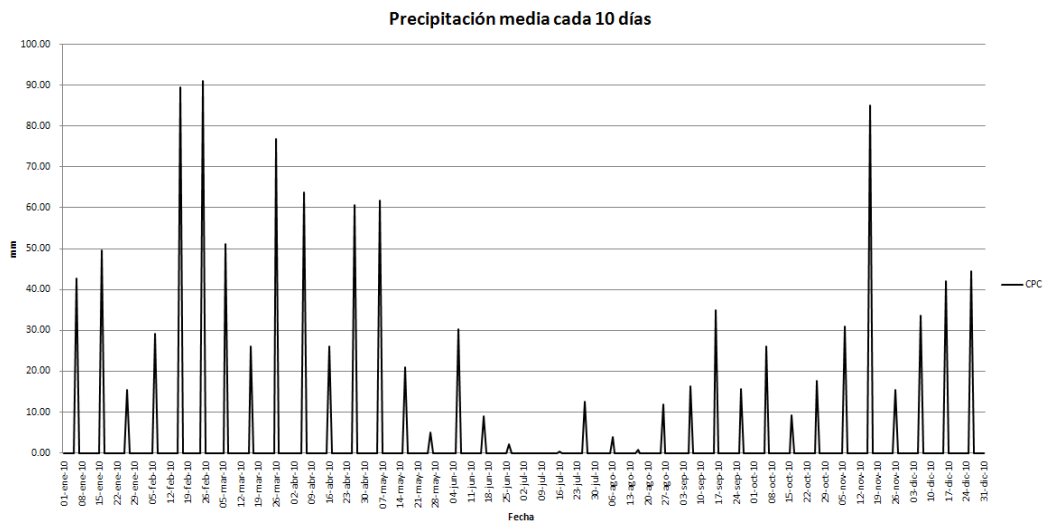


Figura 45: Precipitación cada 10 días del año 2010 para la región de Kagera en Tanzania obtenida a partir de los datos de CPC.

#### 4.1.5.3 Precipitación del Tropical Rainfal Measuring Mission (TRMM)

Se han obtenido los datos desde el año 2001 hasta el 2013 para cada día sobre Tanzania. Posteriormente, para cada provincia, se ha calculado el valor medio de la precipitación con el fin de determinar el comportamiento de las mismas a lo largo de estos años.

El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos.

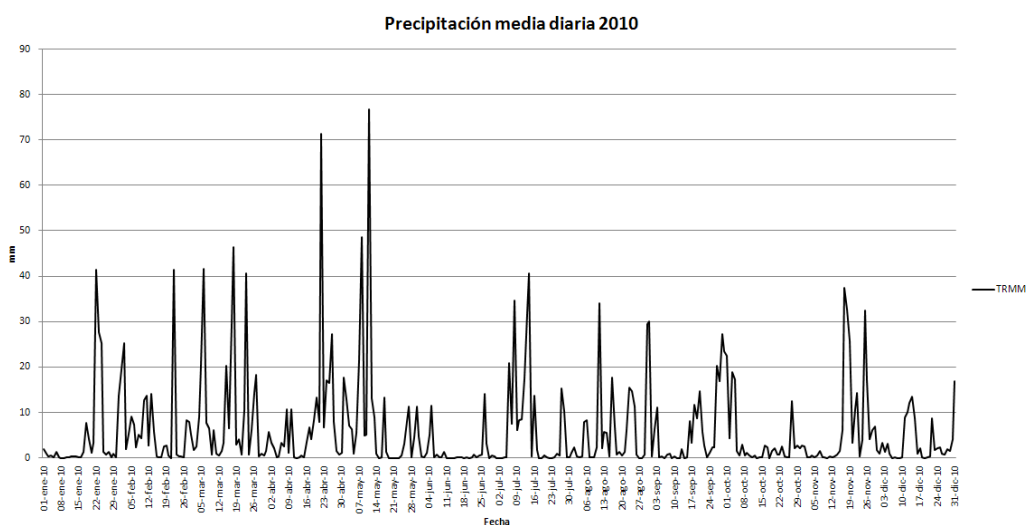


Figura 46: Precipitación media diaria del año 2010 para la región de Kagera en Tanzania obtenida a partir de los datos de TRMM.

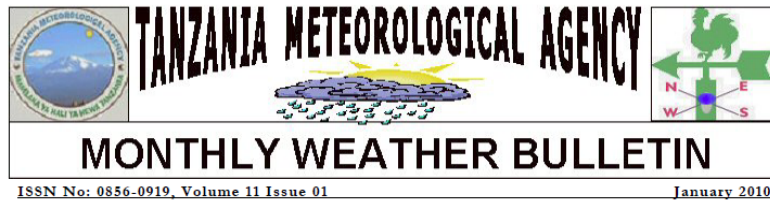
#### 4.1.5.4 Estaciones Meteorológicas

La Agencia Meteorológica de Tanzania (TMA) produce cada diez días y de forma mensual boletines meteorológicos de toda Tanzania.

El Dekadal Weather Review ofrece un resumen de diez días de la situación sinóptica, la lluvia, el impacto agro-meteorológico e hidro-meteorológico además de una previsión del tiempo para la siguiente decena, así como mapas de las precipitaciones y gráficos relevantes. Además de los boletines decenales, se generan boletines mensuales que ofrecen un resumen del clima y de la temperatura, las horas de sol, la velocidad del viento además de información satélite que incluye el NDVI. Estos boletines se hacen públicos en el siguiente enlace <http://www.wamis.org/countries/tanzania.php>.

Con el fin de afinar en los resultados, se han descargado los informes mensuales con la pretensión de tener resultados “reales” de lluvia en el país, siempre teniendo en cuenta que los valores están interpolados.





- HIGHLIGHTS**
- Uneven distribution of soil moisture experienced over several areas of the country mainly during the second half of the month hampering crop growth and development.
  - Armyworm outbreaks in some unimodal areas (central and southern regions) were brought under control.

**SYNOPTIC SUMMARY**

The climate systems over the northern hemisphere continued to intensify in January 2010, thus, resulting into migration of the rain zone, Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ) further south to northern Mozambique. The Sea Surface Temperatures (SSTs) in the equatorial Pacific Ocean have been anomalously warm for several months and are projected to persist through March 2010. This implies that El Niño conditions are expected to continue across much of the central and east-central equatorial Pacific. Over the south-western Indian Ocean warm SSTs were observed while central neutral conditions have been persisting.

**WEATHER SUMMARY**

**RAINFALL**

The beginning of January 2010 experienced enhanced rainfall activities over greater part of the country. However, the rains reduced during the second decade of the month signifying closer end of short rains. The recorded rainfall amounts for the month at selected stations with percentage of long term means in brackets was lead by Igeri 322.2mm (131.9%), Songea 286.7mm (101.2%), Mtwara 168.8mm (87.4), Kilwa 168.5mm (129.2%), Mbeya 150.2mm(82.0%), Tumbi 149.9mm (101.9%),

Tabora 147.1 mm (99.8%), Handeni 144.1mm (181.3%), Bukoba 131.4mm (82.7%), Tanga 126.6mm (361.7%), Mwanza 123.2mm (118.8%), Hombolo 114.6mm (84.3%),

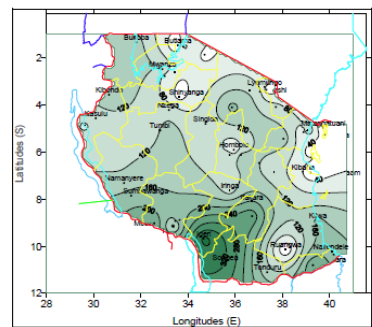


Fig 1A: January 2010 Rainfall distribution (mm)

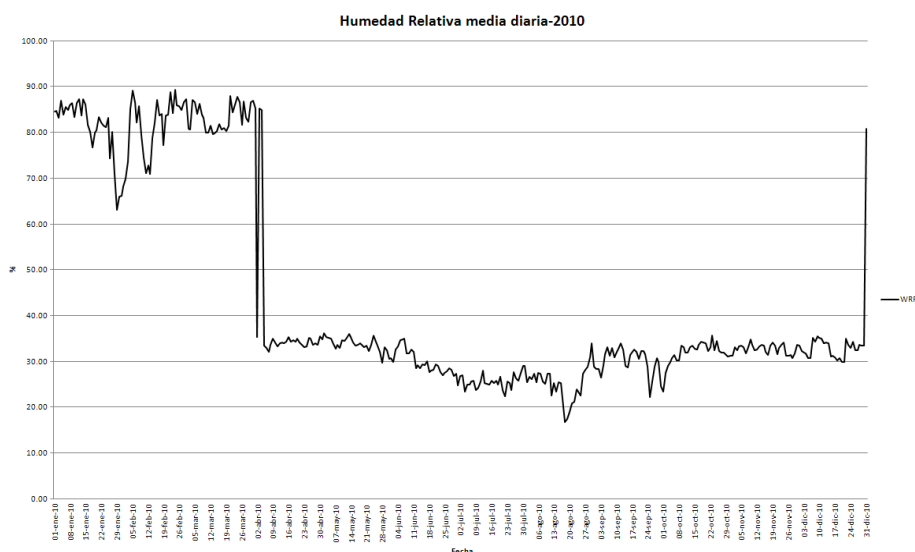
Tukuyu 106.1 mm(43.2%), Dodoma 103.4mm (77.3%), Morogoro 97.3mm (93.4%), Iringa 97.2mm (87.6), Same 95.0mm (145.5%), Musoma 91.7mm (155.2%), KIA 90.7mm (204.4%), Lyamungo 53.9mm (59.8%). These records show that over parts of bimodal areas particularly the Lake Victoria basin and North-eastern highlands the rains were normal to below normal over most areas with pockets of above normal, whereas Northern coast received above normal to normal with pockets of below normal rains. Over Unimodal areas seasonal rains spread well (normal to above normal) during the first half of the month with pockets of below normal

Figura 47: Boletines meteorológicos

**4.1.6 Humedad Relativa WRF (Weather Research and Forecasting)**

Las precipitaciones son las responsables de crear las condiciones propicias para la reproducción y supervivencia de los vectores transmisores de la malaria y la temperatura es la responsable de la variabilidad de la tasa de desarrollo de los mismos.

De la misma forma, la humedad, provoca impactos en la supervivencia de los vectores transmisores. Generalmente, los mosquitos no son capaces de completar su ciclo de vida si la humedad relativa es menor al 60% (Craig et al. 1999). En las regiones donde la malaria es endémica, estas tres variables podrían ser suficientes para establecer las condiciones de transmisión cada año, sin embargo en las regiones propensas a las epidemias, no es suficiente (Craig et al. 1999).



**Figura 48:** Humedad Relativa media del año 2010 para la región de Kagera en Tanzania obtenida a partir del modelo WRF

A la vista del gráfico los meses entre enero y abril son los más propicios para la proliferación de los mosquitos transmisores.

#### 4.1.7 Distancia con respecto de las masas de agua

Hacer una detección de las masas de agua a partir de imágenes provenientes de satélites ópticos es relativamente sencillo. Es importante localizar el mayor número de masas de agua ya que estas serán los criaderos de los vectores transmisores (Lacaux et al., 2006; Vignolles et al., 2009).

Para obtener con la mejor de las precisiones las zonas con contenido de agua, se ha revisado la literatura y se ha hecho uso de los índices de cálculo de humedad en el suelo con mayor coherencia.

**Tabla 17:** Índices derivados de los cálculos entre bandas para la extracción de zonas con acumulación de agua

Índice	Ecuación	Comentario	Referencia
Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$	El agua tiene valor positivo	(McFeeters, S.K. 1996)
Normalized Difference Moisture Index	$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$	El agua tiene valor positivo	(Wilson, E.H. 2002)
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$	El agua tiene valor positivo	(Xu, H. 2006)

Índice	Ecuación	Comentario	Referencia
Water Ratio Index	$WRI = \frac{Green + Red}{NIR + MIR}$	Los cuerpos de agua tiene valores mayores que 1	(Shen, L., 2010)
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	El agua tiene valor negativo	(Rouse, J.W. et al, 1973)

La metodología que se ha seguido consiste en el cálculo de cada uno de estos índices por separado de forma que se obtiene una imagen raster por cada uno de los índices.

Todas estas imágenes fueron finalmente fusionadas en una sola imagen de manera que se considera que un pixel tiene agua sí, y sólo sí, los valores obtenidos con señal de agua en todas las imágenes son positivos.

Para realizar estos cálculos se ha hecho uso del sensor Landsat 8. La cantidad de bandas que ofrece, así como su resolución media y su temporalidad, lo convierten en el mejor sensor para realizar estas operaciones.

Para simplificar los cálculos, se ha obtenido una imagen raster por cada tile descargado. Posteriormente, todas las imágenes resultado, se unieron en una única imagen a partir de la generación de un mosaico.

El resultado se muestra el color azul en la siguiente imagen.



Figura: 49 Masas de agua detectadas en Tanzania

Esta imagen se ha convertido a formato vectorial de forma que se ha podido hacer una validación de los resultados obtenidos utilizando Google Earth, por lo menos con las masas de agua más grandes, ya que las pequeñas pueden ser debidas a precipitaciones puntuales o cultivos estacionales.



Figura: 50 Detalle de las masas de agua detectadas en Tanzania

Los resultados por provincia los mostramos en la siguiente tabla:

Tabla 18: Resultados provinciales de las masas de agua detectadas

Provincia	ID	Área de la provincia (km <sup>2</sup> )	Área agua detectada (km <sup>2</sup> )	Longitud orilla(km)	% agua por región
Mbeya	1	58549	5480	7870	9'36%
Rukwa	2	75844	18036	25955	23'78%
Zanzibar South and Central	3	873	17	1105	1'99%
Mwanza	4	35005	15655	30540	44'72%
Shinyanga	5	50415	29	1875	0'06%
Tabora	6	76666	169	6050	0'22%
Kagera	7	39767	25911	34640	65'16%
Kigoma	8	47497	8923	16285	18'79%
Dar es Salaam	9	1639	25	1375	1'54%
Morogoro	10	68769	380	16510	0'55%

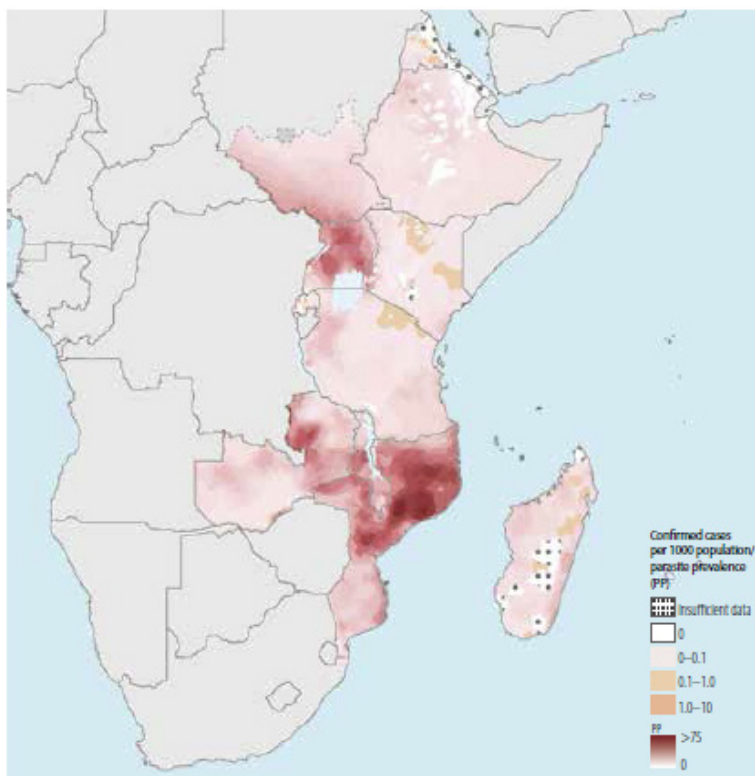
Provincia	ID	Área de la provincia (km <sup>2</sup> )	Área agua detectada (km <sup>2</sup> )	Longitud orilla(km)	% agua por región
Kaskazini Pemba	11	453	32	1925	7'07%
Kusini-Pemba	12	438	23	1875	5'30%
Pwani	13	31566	399	22810	1'27%
Kaskazini-Unguja	14	435	36	1265	8'32%
Zanzibar West	15	248	11	990	4'56%
Dodoma	16	42304	591	5915	1'40%
Iringa	17	60528	385	7930	0'64%
Lindi	18	66416	248	9230	0'37%
Mtwara	19	17745	133	7780	0'75%
Ruvuma	20	63979	240	7865	0'38%
Singida	21	48939	82	3565	0'17%
Arusha	22	38610	742	14500	1'92%
Manyara	23	45149	370	4530	0'82%
Kilimanjaro	24	13059	104	1535	0'80%
Mara	25	28551	15661	30955	54'85%
Tanga	26	27974	69	3715	0'25%

Las provincias de Rukwa, Mwanza, Kagera y Mara son las que muestran los porcentajes de agua más altos por un motivo, y es que los lagos Victoria y Tanganica forman parte de ellas.

#### 4.1.8 Modelos globales

Son numerosos los modelos teóricos que pretenden ser capaces de explicar los motivos por los cuales surge un brote epidémico de malaria, pero son modelos teóricos, no alimentados con datos de tierra que puedan soportar los resultados obtenidos, aunque en todo caso son útiles para poder validar los resultados obtenidos.

#### 4.1.8.1 Informes de la Organización Mundial de la Salud



Fuente: WHO2014

Figura 51: Casos confirmados de malaria por cada 1000 personas/prevalencia del parásito, 2013

Para siete países incluido Tanzania (zona continental), los informes de la OMS presentan inconsistencias debidas a la accesibilidad de los servicios de salud. Aunque se muestran tendencias que reducen la mortalidad en Tanzania, los resultados no son suficientes como para que se puedan reproducir a nivel nacional (WHO-MR-2014).



Fuente: WHO2014

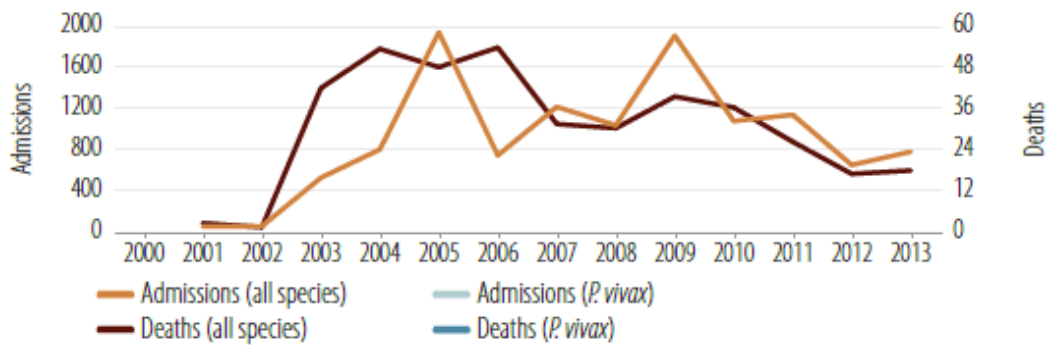
Figura 52: Casos confirmados de malaria por cada 1000 personas/prevalencia del parásito, 2013



Fuente: WHO2014

Figura 53: Proporción de casos debidos a *P. Falciparum*

Oficialmente, el siguiente gráfico muestra el número de ingresos y muertes por malaria en Tanzania desde el año 2000.



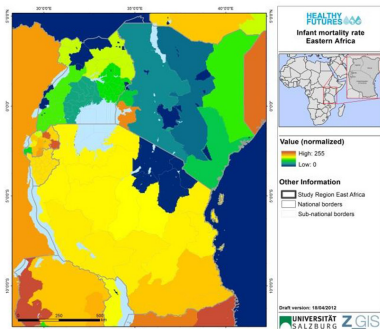
Fuente: WHO2014

Figura 54: Ingresos y muertes por malaria (por cada 100,000 personas).

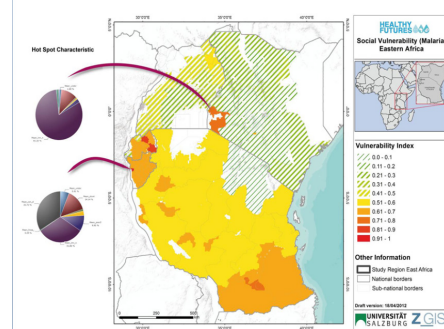
#### 4.1.8.2 Proyecto Europeo

Algunos proyectos Europeos, trabajan en esta misma línea, entre ellos el Healthy Futures, el cual está motivado por el impacto que provocan ciertos brotes epidémicos sobre la población siendo su objetivo generar un sistema de mapas de riesgo de la enfermedad relacionados con el agua en el este de África (malaria, fiebre del Valle del Rift y la esquistosomiasis), teniendo en cuenta las tendencias ambientales/climáticos y los cambios en las condiciones socio-económicas para predecir futuros riesgos. Este proyecto ha recibido 3.380.000 € de financiación de la UE a través del Séptimo Programa Marco (MP7).

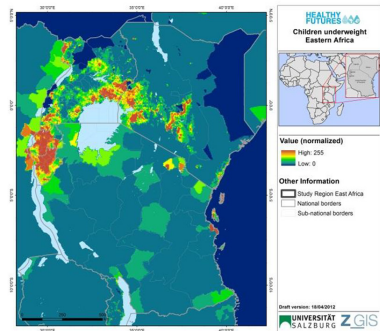
Las siguientes imágenes muestran los mapas obtenidos a lo largo de los años en los que ha durado este proyecto, los cuales serán tenidos en cuenta con el fin de poder tener una visión diferente a la climática de los problemas del país.



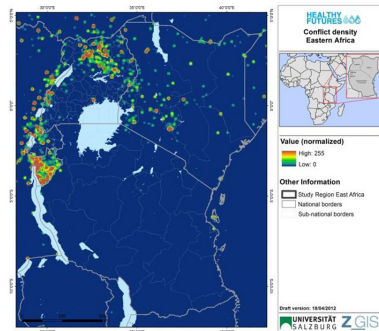
Ratios de mortalidad infantil



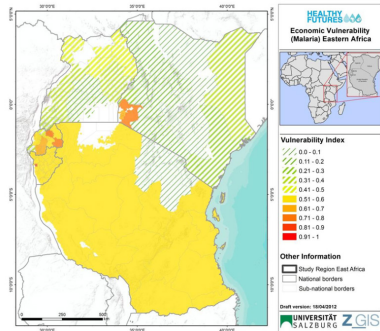
Vulnerabilidad a la malaria



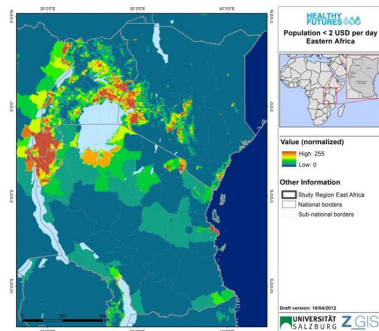
Niños menores de 5 años con peso bajo



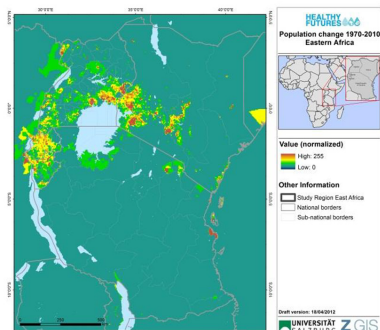
Densidad de conflictos



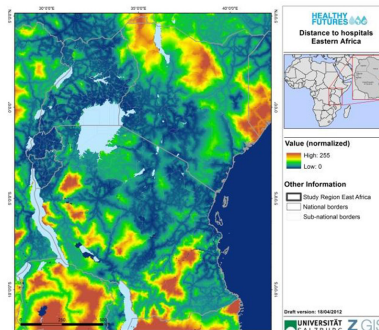
Vulnerabilidad económica a la malaria



Población por debajo de los dos dólares al día

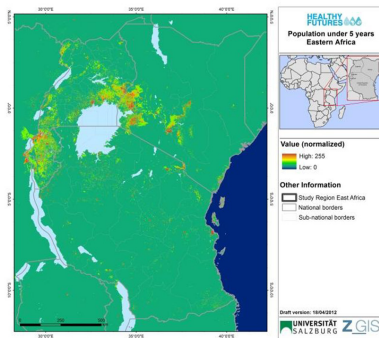


Cambios poblacionales (1970-2010)

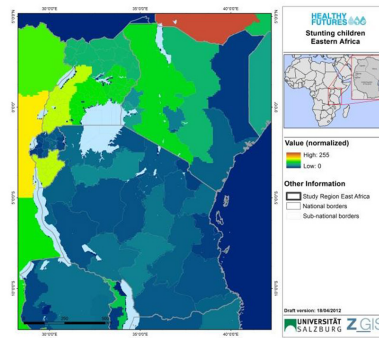


Distancia a los hospitales





Población por debajo de los 5 años



Porcentaje de niños con desarrollo bajo

Fuente: Healthy FUTURES

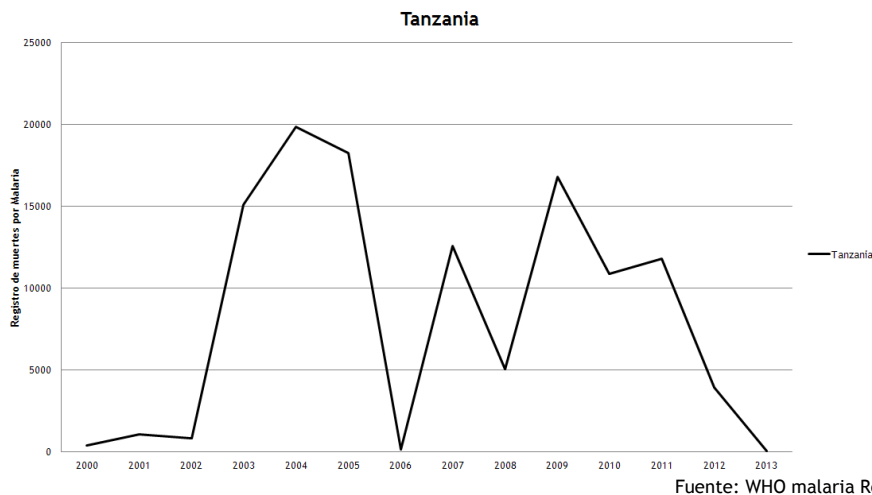
Figura 55: Resultados de Healthy Futures Project

Ya que estos dos proyectos, supuestamente, utilizan datos recogidos en tierra, siendo las fuentes principales asociaciones como Médicos sin Fronteras, Médicos Mundi...etc, se puede asumir su información como fiable, aunque no se ha de perder de vista el hecho de que puede tener ciertas limitaciones.



## Capítulo 5.- DATOS DE ENTRADA DEL SISTEMA

Una vez que se adoptan los datos de la OMS como fiables, basaremos la decisión de los años de estudio en ellos. El siguiente gráfico representa los valores de los registros de muerte por malaria en Tanzania de los últimos trece años.



**Figura 56:** Número de muertes por malaria

Los máximos se registran en los años 2004-2005 y 2009, por este motivo estos años se van a tener en cuenta en los cálculos. Los años inmediatamente consecutivos a los picos máximos se aprecian descensos en el número de registros; es importante destacar el año 2006, donde tras tres años de valores muy altos, se reduce el número a prácticamente cero. Por contrastar estas diferencias, se tendrán en cuenta a mayores los años 2006 y 2010.

### 5.1 Recopilatorio de datos

Qué duda cabe que los datos de entrada que serían los más válidos para el sistema, serían los datos de brotes de malaria, pacientes con la infección confirmada, así como las edades de los mismos y las zonas donde se han podido infectar.

Pero Tanzania, un país muy pobre y con recursos sanitarios más que limitados, en el que incluso su red telefónica no es accesible desde el exterior, excepto en muy pocos casos. Por este motivo, conseguir datos fiables se convirtió en una tarea complicada.

La primera fuente de la que se hizo uso fue la embajada española en Tanzania, situada en la ciudad de Dar Es Salaam. Ciertamente mostraron interés en el tema propuesto y nos proporcionaron las direcciones de correo de un grupo de estudio dirigido a la lucha contra la malaria.

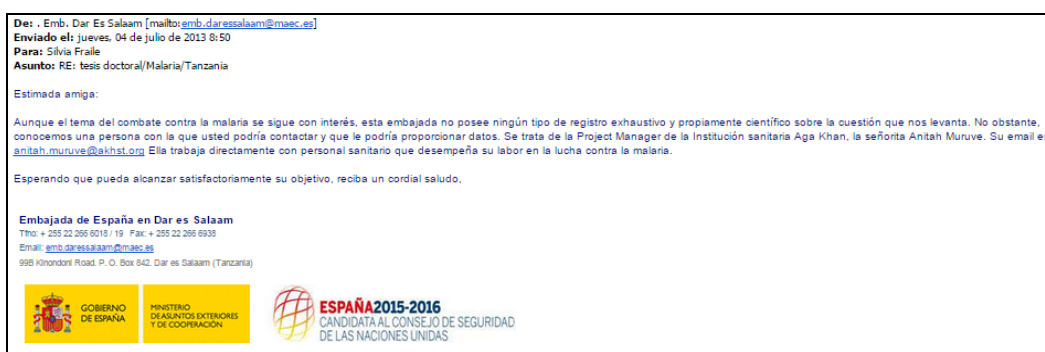


Figura 57: Escrito de la Embajada española en Tanzania.

Esta fuente resultó ser muy activa proporcionándonos una gran cantidad de datos en cuanto a vacunas, tratamientos preventivos y paliativos ...etc, sin embargo, nos comunicaron que no disponían de registros con números de pacientes en Tanzania y nos explicaron lo difícil que sería esta tarea teniendo en cuenta la situación del país.

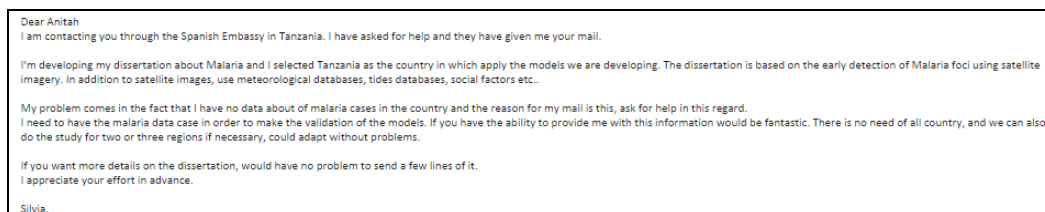


Figura 58: Escrito a Anitah.

Otro intento, fueron los grupos de voluntarios activos en el país, entre los que se encuentran Médicos sin Fronteras. Ellos llevan años sin trabajar en la zona debido a las condiciones de seguridad del país y tampoco tenían datos de pacientes.

Estimada Silvia Fraile,

Por este medio confirmo la recepción de su mensaje y solicitud.

El tema de su tesis doctoral es ciertamente muy interesante y con importante carácter innovador.

No obstante, lamento informarle que MSF-España no trabaja en Tanzania desde Enero de 2007 cuando se cerró el último proyecto regular. Y que solamente volvimos en 2009 para una corta intervención por epidemia de cólera.

De tal manera, le informo que MSF no está en posición de poder proveer ningún dato, tal y como usted lo solicita.

Le invito a buscar contactar con otra organización o institución presente en Tanzania o en la región, y que tenga programas de respuesta a la malaria.

Sugiero por ejemplo que contacte usted con:

'Médicos del Mundo' (<http://www.medicosdelmundo.org/index.php/mod.países/mem.detalle/id.10/re/menu.112/re/categoría.620/lang.ga/link.3>)

'Malaria Consortium' con base en Uganda ([http://www.malariaconsortium.org/pages/where\\_we\\_work.htm](http://www.malariaconsortium.org/pages/where_we_work.htm))

Aprovechamos para desearle éxito en su estudio.


Con un saludo cordial,

Dr. Pedro-Pablo PALMA  
Director Departamento Médico  
Médicos Sin Fronteras - España

C/ Nou de la Rambla, 26. 08001. BARCELONA.  
Tel. +34 93 304 6100  
[www.msf.es](http://www.msf.es) / [www.msf.org](http://www.msf.org)

Figura 59: Médicos sin Fronteras.

También intentamos contactar con el consulado español en Zanzíbar, que suministró informaciones confusas que finalmente no nos fueron útiles. También contactamos con Manos Unidas, en España, que no respondió. Como intento definitivo, remitimos un escrito a la misión de Mangola en Tanzania, un grupo de misioneros dedicados al cuidado de los enfermos con recursos limitados en el país. De nuevo, la fuente no fue fructuosa.



**LABORATORIO DE TELEDETECCIÓN  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

---

Misión de Mangola  
TANZANIA

Valladolid 2-diciembre-2014

Estimados señores


Somos un laboratorio de la Universidad de Valladolid que trabajamos en observación espacial a través de satélites. Entre otras cosas, estamos trabajando en dos tesis doctorales: una sobre el desarrollo de un modelo de previsión de la langosta del desierto en Mauritania y otra sobre el desarrollo de un sistema de alerta temprana de la malaria en ese país, en Tanzania, utilizando observaciones de varios satélites que nos permiten conocer la lluvia, estado de la vegetación, temperatura etc y lógicamente de mapas locales. Disponemos de las observaciones de varios años y nuestra idea es poner a funcionar estos modelos en tiempo real a partir de medidas directas y obviamente abrirlos a cualquier persona o institución interesada por si fueran de utilidad

Este tipo de trabajos requieren de datos reales que permitan ajustar las previsiones. En el caso de Mauritania disponemos de un Boletín local que nos es muy útil, pero en el caso de la malaria disponemos de muy pocos datos: tenemos estadísticas generales, alguna campaña del año 2005, informes muy generalistas y no muchas más cosas. Por eso nos dirigimos a ustedes por si nos pudieran suministrar datos sobre la incidencia de la malaria en su zona.

Entendemos que es difícil disponer de estadísticas muy detalladas, pero cualquier tipo de dato nos sería muy útil, por ejemplo en tal época de tal año hubo un rebrote o cualquier información aunque no sea muy precisa. Ya sabemos que la lluvia es un factor clave, y también que hay algunas instituciones que ya elaboran mapas de alerta, pero creemos que nuestra aportación puede ser interesante porque pretendemos mejorar el tiempo de aviso.

Les agradecemos cualquier información tanto en el sentido que les he indicado como de cualquier organismo o persona que nos pudiera ayudar en esto.

Muchas gracias y saludos desde España



José-Luis Casanova

jois@latuv.uva.es  
Tfno 983-184378  
Fax: 983-423952

---

LATUV, Edificio I+D, Paseo de Belén 11, 47011 Valladolid, Tfno: 34-983-184378,  
Fax: 34-983-423952, Mail: latuv@latuv.uva.es

Figura 60: Escrito a la Misión de Mangola

Finalmente, conseguimos un documento oficial de la Cruz Roja, de julio del año 2006, donde se describen las consecuencias de un brote importante de malaria en la provincia de Kagera, en el noroeste del país.

**Tanzania: Malaria Outbreak in Kagera; DREF Bulletin no. MDRTZ003**

**Background and current situation**  
 Kagera region is situated in the north-western part of Tanzania and is divided into eight administrative districts; Bukoba Urban, Bukoba Rural, Muleba, Karagwe, Ngara, Biharamulo, Chato, and Missenyi. The region has a total population of 2,146,919 with a growth rate of 2.9 per cent. There are 13 hospitals, 13 health centres and 202 dispensaries providing health care (government and private).

According to a report received from the Tanzania Red Cross National Society (TRCNS) on 10 July 2006, there has been a rise in the number of malaria cases resulting in increased mortality, especially among children aged under five years. The two most affected districts are Karagwe and Muleba in Kagera region, which have reported about 300 deaths of children aged under five since January 2006, excluding unreported cases that might have occurred at home. The number of deaths per month among children increased from 2,295 in February to 3,542 in May in Muleba District and from 3,014 to 3,944 in Karagwe District. It was not until June that the emergency situation became apparent, when the number of admitted patients with severe anemia increased from 89 to 170 raising the demand for blood transfusion in the Rubya and Nyakahanga hospitals in Karagwe and Muleba respectively.

The two hospitals have a combined bed capacity of 162 and have admitted over 420 patients, out of whom 227 were children aged under-five years. This has caused over-congestion as well as difficulty in providing quality care to all the admitted patients.

Figura 61: Boletín de la Cruz Roja

Esta documentación junto con los datos que ofrece la Organización Mundial de la Salud, y un reciente trabajo publicado en septiembre de 2015 van a ser los datos que se usarán para referenciar y validar el sistema desarrollado, ya que ha sido imposible conocer de primera mano el número de casos confirmados en Tanzania.

## 5.2 Datos de partida

El siguiente apartado, muestra de forma concisa todos los datos que van a pasar a formar parte de los inputs para generar el sistema de alerta que se pretende diseñar.

Se van a exponer solamente aquellos que se corresponden a la provincia de Mbeya en cada uno de los apartados. Sin embargo, todos los datos a nivel provincial se podrán encontrar en el DVD anexo que completa este trabajo.

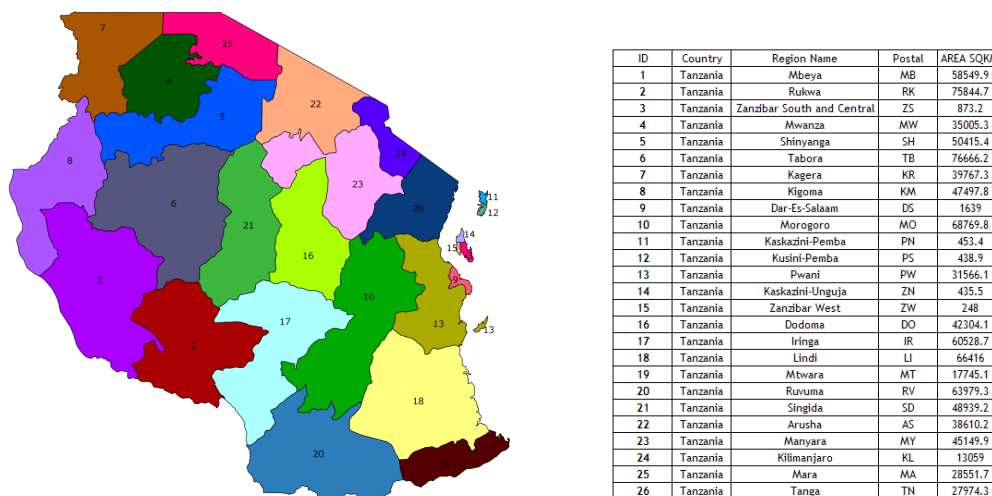


Figura 62: Provincias de Tanzania

### 5.2.1 Cubierta vegetal

Se propone el análisis de cinco tipos de suelo de entre los existentes en Tanzania. Estos cinco seleccionados, son los favoritos para la reproducción y el desarrollo de los vectores transmisores de la malaria:

- Bosque de hoja ancha
- Sabana
- Sabana arbolada
- Praderas
- Cultivos y vegetación natural.

Tras generar la imagen raster de usos de suelo de Tanzania a partir del subproducto de MODIS y tras eliminar las clases que no se van a analizar, el mapa de uso de suelo queda de la siguiente forma:

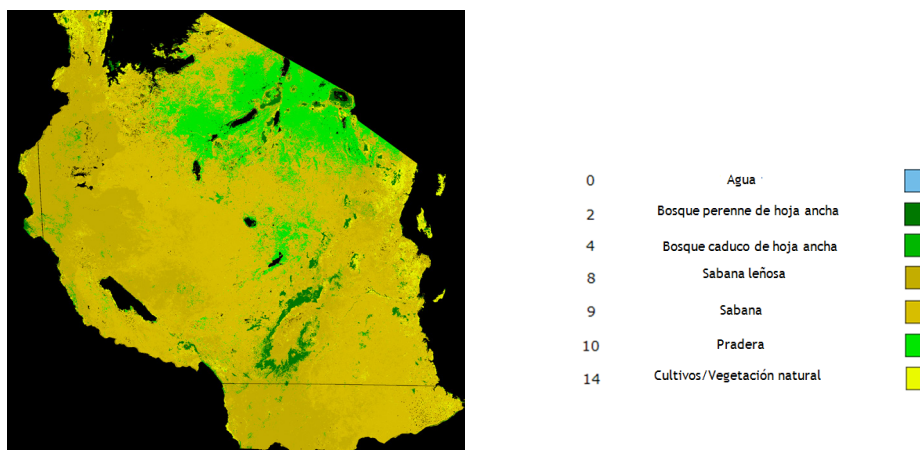


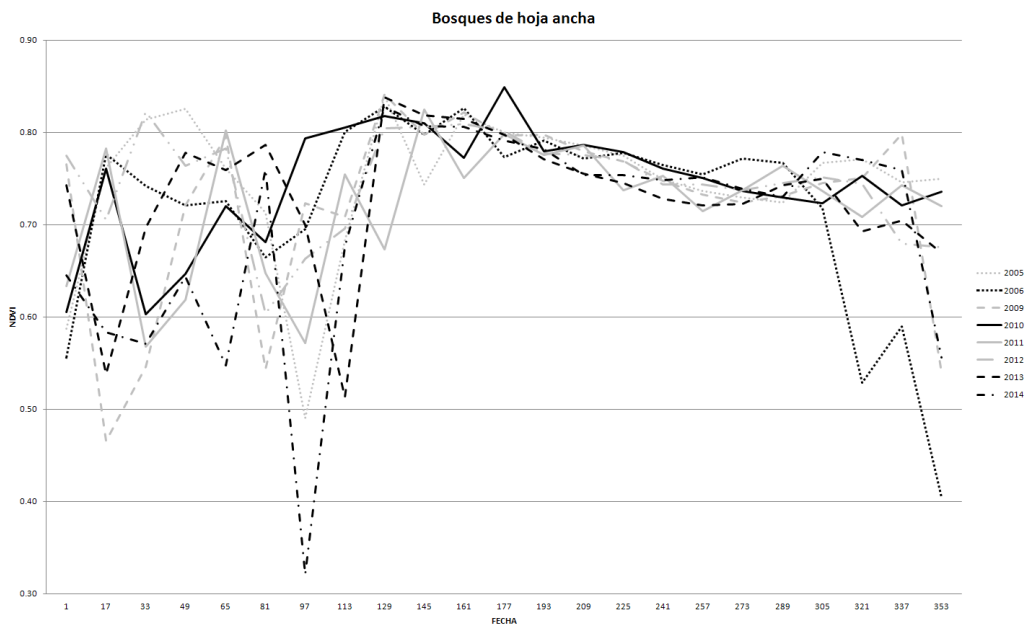
Figura 63: Tipos de suelo analizables.



Aunque la superficie analizable es prácticamente todo el territorio tanzano, el análisis se realizará por separado en cada uno de los casos, de forma que se obtendrá el comportamiento de cada clase por separado. Cabe esperar que la reproducción de los vectores transmisores de la enfermedad, debido a su biología, sea más propicia cuando se trate de vegetación vigorosa que seca y que pudiera haber una cierta tendencia hacia algún tipo de superficie.

Es por eso que se analizará a través del NDVI el estado de la vegetación en los diversos tipos de suelo para de esta manera determinar cuáles son las zonas más propicias para la reproducción de los vectores.

Tal como se ha mencionado, para ello se utilizan los productos MODIS MOD13Q1. Estos productos son proyectados en el epsg: 32736 y unidos mediante un mosaico para formar una sola imagen cada 16 días. El análisis se ha realizado en ocho años diferentes 2005, 2006, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014, a partir de los cuales se han generado las curvas cada tipo de suelo. La siguiente figura muestra los cálculos obtenidos para estos años en los bosques de hoja ancha. El resto de cálculos que se han realizado, puede consultarse en los ficheros Excel anexos dentro de la carpeta **Datos de NDVI Tanzania**.



**Figura 64:** Curvas de NDVI cada 16 días para la región de Mbeya para bosques de hoja ancha.

La curva muestra las variaciones del NDVI para ocho años de análisis, las oscilaciones son notables en los primeros meses del año, posiblemente debido a las lluvias que se dan en estas fechas. Sin embargo, en la parte central del año, son prácticamente estables, hasta que nuevamente, hacia final del año, la estación lluviosa introduce de nuevo variaciones en función de la fecha.

La siguiente tabla muestra la ocupación de cada una de las clases calculadas por provincia y clase.

**Tabla 19:** Ocupación provincial de cada cubierta vegetal

Provincia	ID	Bosque de hoja ancha	Sabana arbolada	Sabana	Pastos	Cultivos
Mbeya	1	425	20504	33422	470	1013
Rukwa	2	58	43611	18059	435	1282
Zanzibar South and Central	3	164	61	30	1	504
Mwanza	4	378	599	11376	2221	2599
Shinyanga	5	1'5	7405	22371	18168	1177
Tabora	6	2	18671	52078	3932	549
Kagera	7	594	13321	7371	73	6407
kigoma	8	452	32822	1577	46	924
Dar es Salaam	9	0'35	139	789	8	381
Morogoro	10	6938	22949	33750	205	2594
Kaskazini Pemba	11	24	5	0'8	3	324
Kusini-Pemba	12	14	3	0'3	0'75	322
Pwani	13	693	5451	19009	104	4910
Kaskazini-Unguja	14	6	26	16	1'13	320
Zanzibar West	15	7	6	9	4'5	151
Dodoma	16	65	1519	29710	9372	572
Iringa	17	3902	12139	38827	1683	1939
Lindi	18	467	6050	56677	71	2232
Mtwara	19	13	283	15569	82	1298
Ruvuma	20	1342	47844	12556	33	725
Singida	21	1	1909	39120	5625	426
Arusha	22	1352	1916.06	4175	26751	807
Manyara	23	548	3204	22577	17148	904
Kilimanjaro	24	1362	1365	2168	6045	752
Mara	25	42	247	14334	2804	1742
Tanga	26	1026	8590	10278	1518	5793

### 5.2.2 Temperatura de superficie

En condiciones de laboratorio, el rango de temperatura óptimo para un vector adulto emergente, oscila entre 22°C y 26°C existiendo una completa inhibición por debajo de 18°C y por encima de 34°C (Bayoh and Lindsay, 2003)

La duración del ciclo gonotrópico, como por ejemplo, el tiempo entre dos ovoposiciones, depende de la temperatura. El rango normal es de 2 a 3 días en regiones tropicales (Mouchet et al., 2004). Por ende, la duración del ciclo, regulará la cantidad de mosquitos.

Dependiendo de la especie de Anopheles, a 25°C, la duración de este ciclo puede ser de 10 días para *P. Vivax*, 13 días para *P. Falciparum* y 18-20 días para *P. Ovale* y *P. Malariae* (Moucher et al., 2004).

Se han realizado los cálculos con carácter provincial con los distintos tipos de datos, LST de MODIS y WRT. El resto de cálculos que se han realizado pueden consultarse en los ficheros Excel anexos dentro de la carpeta **Datos de TEMPERATURA Tanzania**.

### 5.2.2.1 Temperatura derivada de MODIS

A partir de los datos del sensor MODIS, se han realizado los cálculos para los años 2005, 2006, 2009 y 2010 de los cuales se muestra un ejemplo para la provincia de Mbeya.

A la vista de la curva, no se denotan variaciones muy extremas en los cuatro años de cálculo. Se aprecia una subida generalizada a partir del de julio hasta primeros de noviembre que es cuando comienza la estación de lluvias.

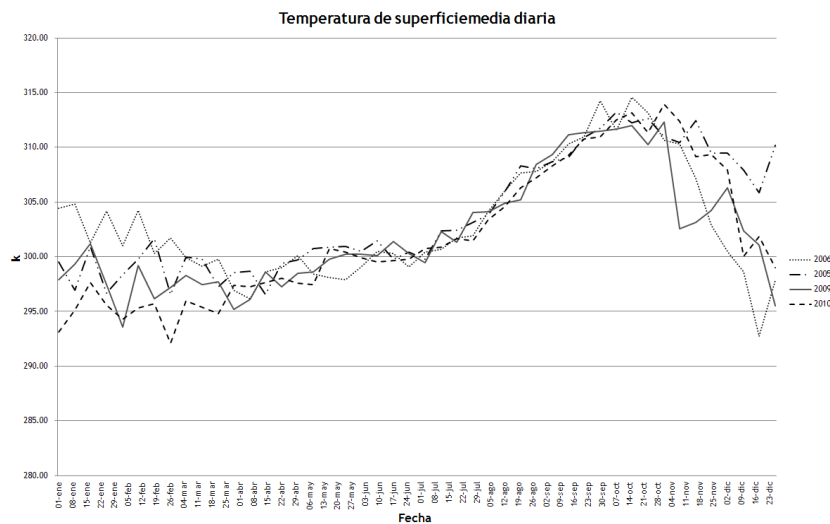


Figura 65: Temperatura diaria para la región de Mbeya obtenida a partir de datos MODIS

### 5.2.2.2 Temperatura derivada de WRF

El gráfico calculado con WRF es más homogéneo para todo el año 2010. Quizás debido a las estimaciones de cálculo del modelo meteorológico.

A simple vista, el comportamiento de la curva es similar al que se ha obtenido a partir de los datos de MODIS. Esta es muy estable durante los primeros meses del año, provocándose un ligero descenso de la misma entre los meses centrales, abril y agosto. Entre finales de agosto y primeros de septiembre, de nuevo la temperatura aumenta de forma más pronunciada que en los primeros cuatro meses del año.

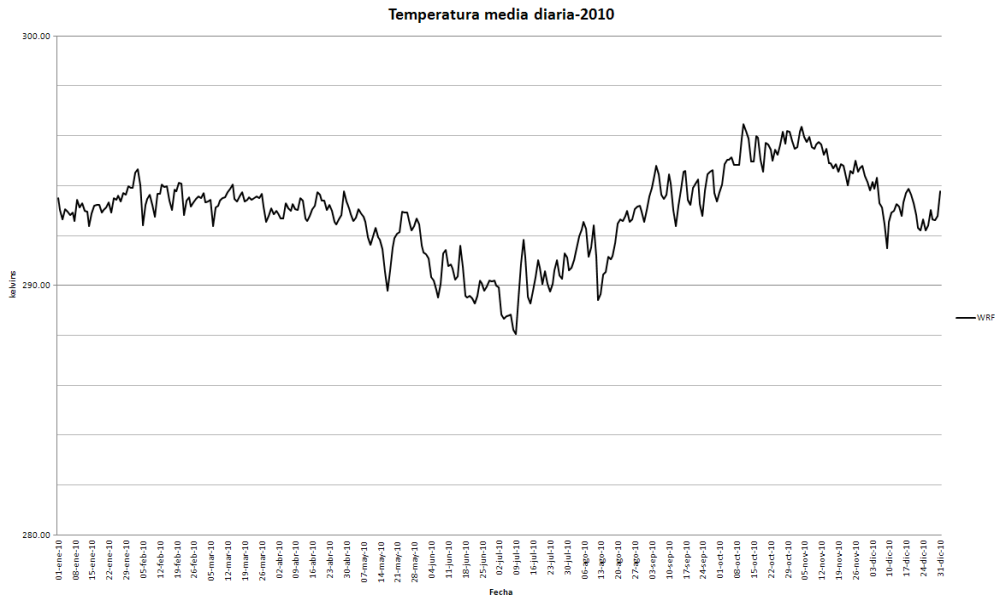


Figura 66: Temperatura diaria para la región de Mbeya obtenida del modelo WRF para el año 2010.

### 5.2.2.3. Comparativa de Resultados

Si se comparasen para el mismo año los datos diarios obtenidos de cada tipo de dato, el resultado es muy diferente.

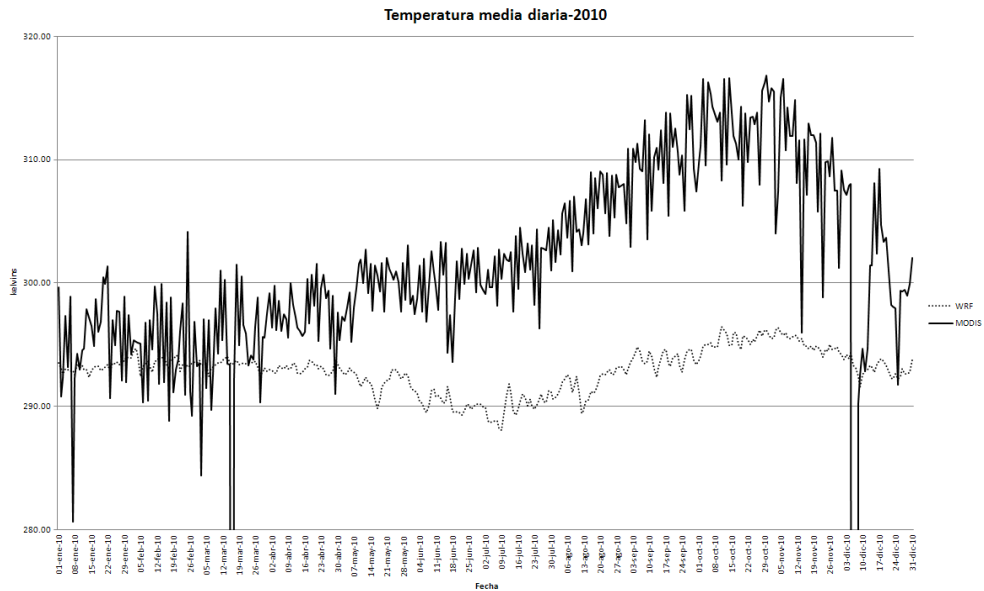


Figura 67: Temperatura diaria para la región de Mbeya obtenida por TRMMvsMODIS para el año 2010.

El sensor MODIS ofrece una respuesta con respecto a los datos de suelo con una desviación de 4°C, es por esto que cabe pensar que los datos más apropiados son los MODIS sin despreciar los cálculos del modelo numérico.

La siguiente gráfica deja entrever los meses en los cuales los vectores son susceptibles de vivir y reproducirse ya que las temperaturas son las óptimas para ello.

Las dos líneas que limitan estas temperaturas óptimas entre 295.15 K y 299.15 K, son las líneas continuas del gráfico. En este intervalo de temperatura, se encuentran los meses coincidentes con la estación lluviosa.

Las líneas discontinuas muestran los límites de inhibición total. Entre agosto y noviembre, las temperaturas en Tanzania provocan que el vector de transmisión tienda a desaparecer lo que hace que el riesgo sea menor.

A la vista del gráfico, los meses más problemáticos son entre diciembre y mayo.

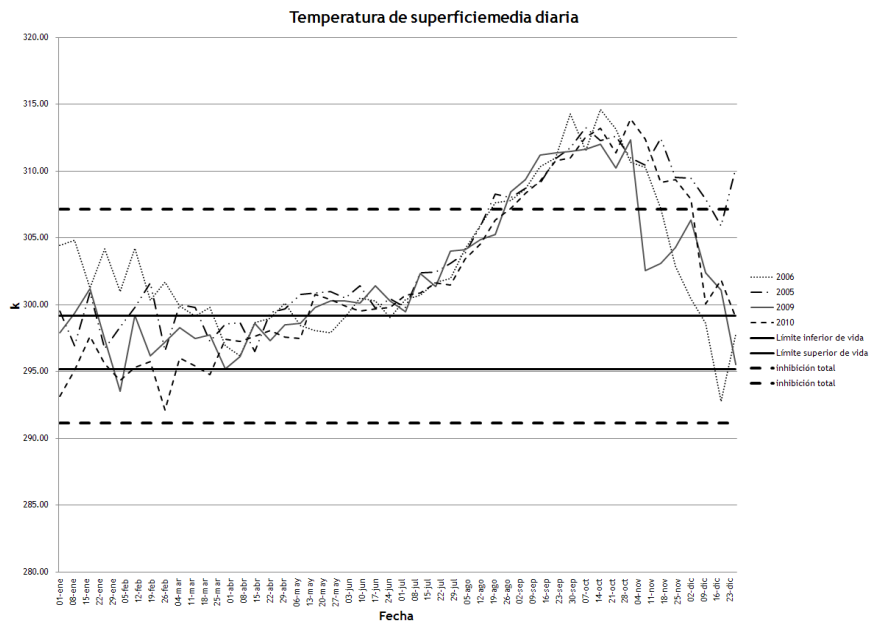


Figura 68: Temperatura diaria para la región de Mbeya obtenida a partir de datos MODIS para el año 2010.

### 5.2.3 Precipitaciones

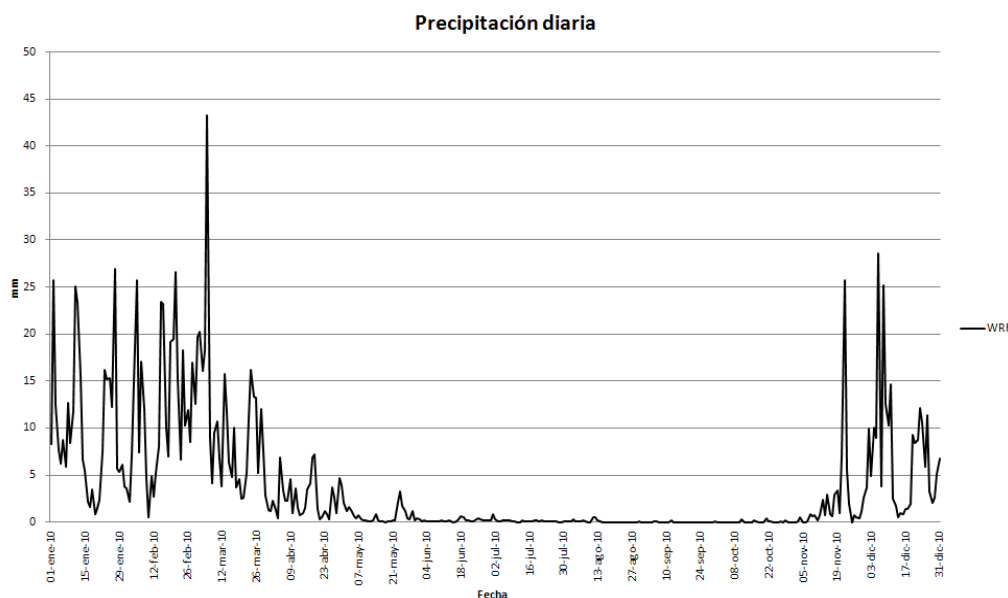
Una vez justificado el vínculo de las precipitaciones con la vida y el desarrollo de un vector, se han obtenido las precipitaciones de diferentes plataformas.

A partir de los cálculos diarios, se ha pretendido comparar cuál de las medidas es la más acertada así como cuál es la más propicia para determinar la supervivencia de los vectores.

### 5.2.3.1 Precipitación derivada de WRF

Como ya se hizo en el caso de la temperatura, se utiliza el modelo numérico con el fin de calcular a nivel regional la precipitación diaria en Tanzania. Es claro que se aprecian dos estaciones. Entre mayo y noviembre apenas hay registros de precipitación, mientras que entre mediados de noviembre y finales de abril, es cuando se registran los máximos anuales.

El resto de resultados que se han obtenido se puede consultar los ficheros Excel anexos dentro de la carpeta **Datos de PRECIPITACIONES Tanzania**.

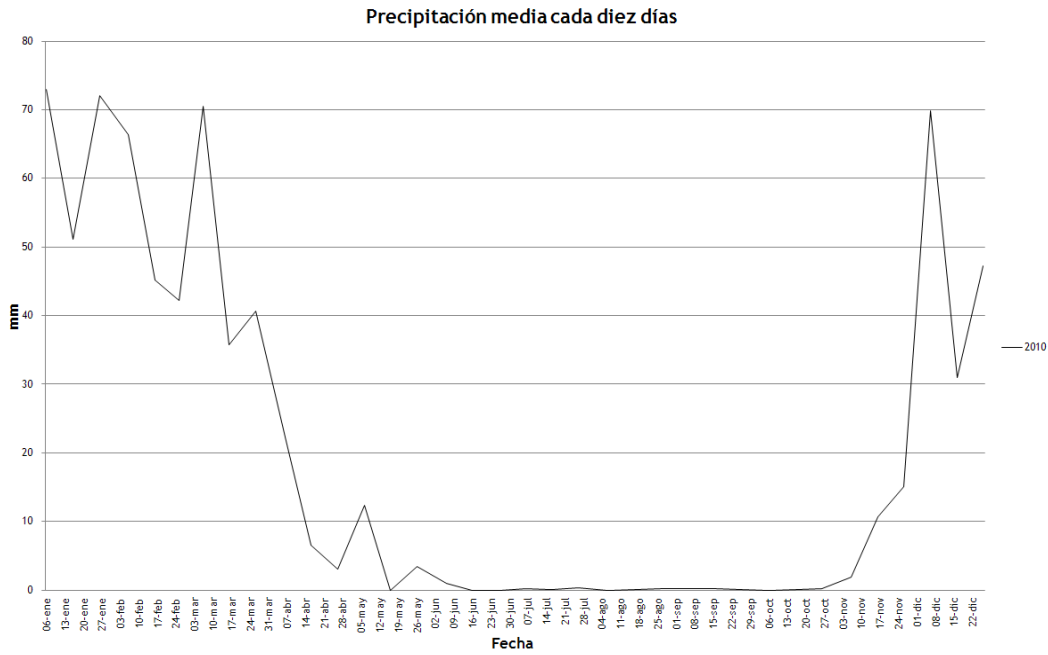


**Figura 69:** Precipitación diaria para la región de Mbeya obtenida del modelo WRF para el año 2010.

### 5.2.3.2 Climate Prediction Center (CPC)

El siguiente gráfico muestra los datos recopilados para el año 2010 en la provincia tanzana de Mbeya.

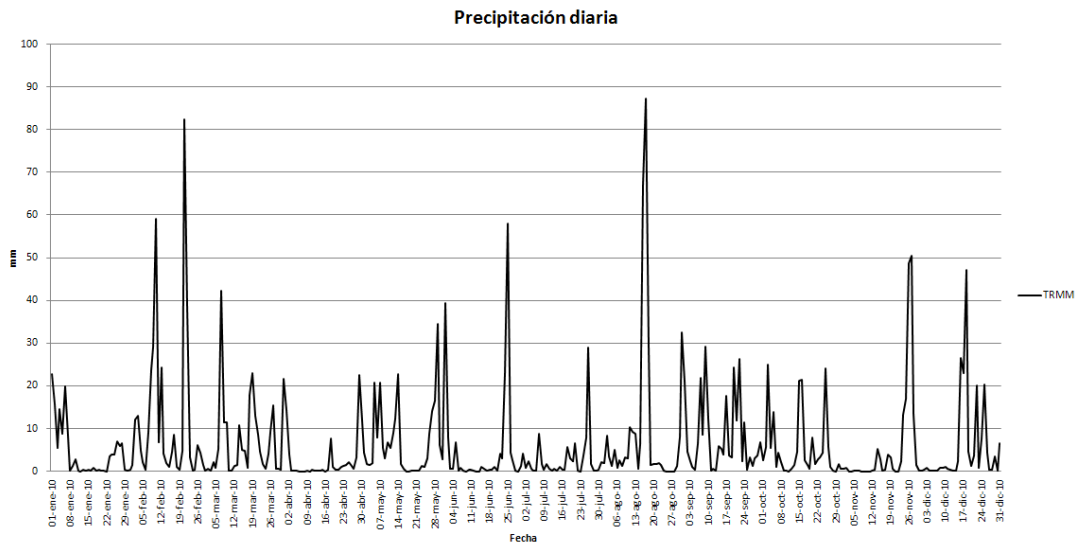
Entre abril y octubre no hay precipitación o es mínima, mientras que entre noviembre y abril se registran los máximos anuales. A la vista está que en Tanzania existen dos estaciones claramente diferenciadas, la húmeda y la seca.



**Figura 70:** Precipitación diaria para la región de Mbeya obtenida del modelo CPC para el año 2010.

### 5.2.3.3 Precipitación derivada de TRMM

En el caso del sensor TRMM, a la vista de los resultados obtenidos para el año 2010, no se aprecian dos estaciones como en los casos anteriores, sino que se detectan registros a lo largo de todo el año, estando los picos máximos en febrero, agosto y noviembre.



**Figura 71:** Precipitación diaria para la región de Mbeya obtenida del modelo TRMM.

### 5.2.3.4. Comparativa de los valores de la precipitación

Para determinar qué datos serán los más útiles, en la figura se muestran las tres fuentes. Como se ve, la más distante es la correspondiente al TRMM ya que muestra las variaciones más marcadas a lo largo del año, no habiendo diferencias entre estaciones, mientras que en los otros dos casos hay similitudes en el comportamiento, aun no siendo iguales, pero sí se definen perfectamente las épocas de lluvia y la época seca.

Dado que nuestro propósito es utilizar la lluvia como un “disparador” del proceso, sin tener en cuenta la cantidad sino sólo su presencia, parece que cualquiera de los dos procedimientos es válido.

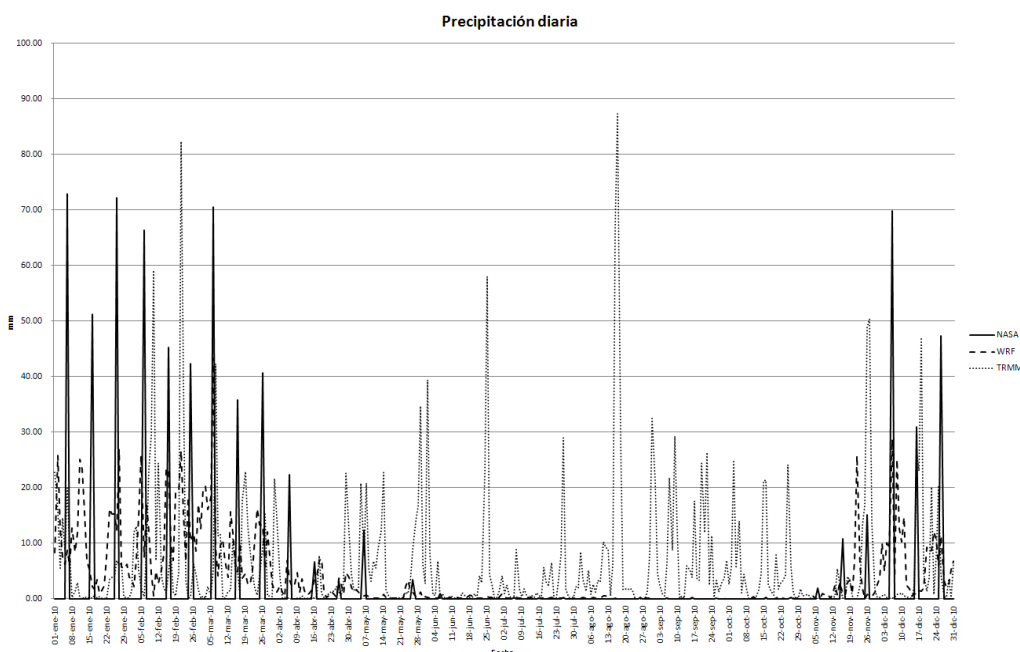


Figura 72: Precipitación diaria para la región de Mbeya obtenida por TRMMvsNASAvsMODIS para el año 2010.

### 5.2.4 Humedad Relativa

A la vista del gráfico y si se tiene en cuenta la premisa establecida de la no supervivencia del vector por debajo del 60% de humedad relativa, es evidente que la época de lluvias va a propiciar los valores altos de humedad relativa, lo que implicaría un aumento en la transmisión de la enfermedad.



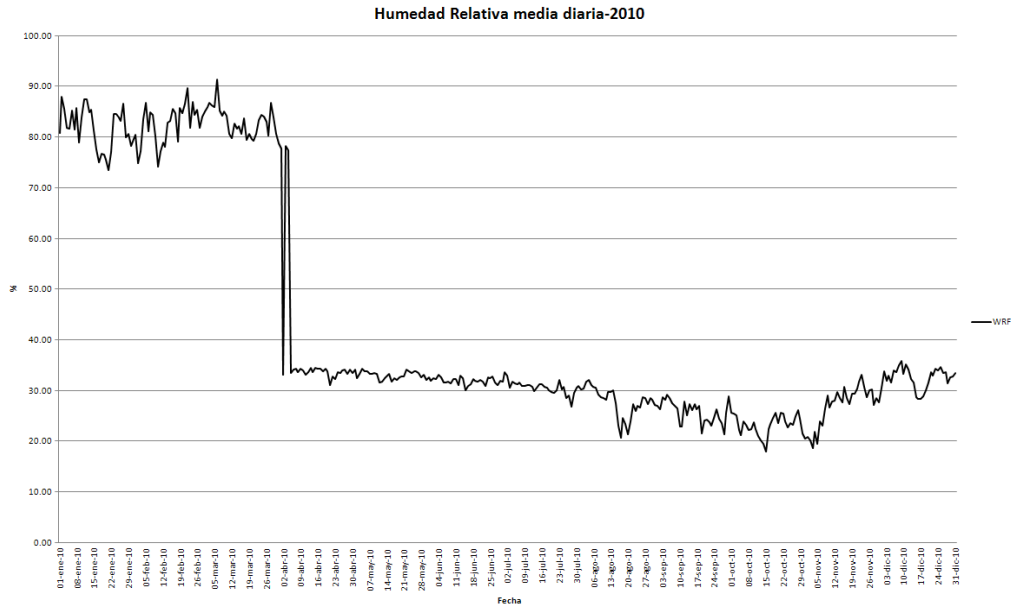


Figura 73: Humedad Relativa diaria para la región de Mbeya obtenida del modelo TRMM.

Los resultados obtenidos para las 26 provincias tanzanas, pueden ser consultados en el DVD anexo dentro de la carpeta Datos Meteorológicos (WRF) Tanzania y NDVI 2005-2015.



## Capítulo 6.- RESULTADOS

En un intento por hacer operacional y automático el cálculo de un índice de riesgo de malaria se han realizado cálculos estadísticos con carácter provincial.

### 6.1 Metodología

Tal como indicamos en la introducción, se han analizado las variables que de manera general se considera que influyen en el desarrollo de los vectores. La relación de las mismas es la siguiente:

Tabla 20: Ocupación provincial de cada cubierta vegetal

Año	Año
j	Día juliano
Broa_ave	NDVI promedio de bosque de hoja ancha
Wood_ave	NDVI promedio de la sabana arbolada
Sava_ave	NDVI promedio de la sabana
Grass_ave	NDVI promedio de las zonas herbáceas
Crop_ave	NDVI promedio de los cultivos
prom_ave	NDVI promedio de la provincia
Broa_max	NDVI máximo de bosque de hoja ancha
Wood_max	NDVI máximo de la sabana arbolada
Sava_max	NDVI máximo de la sabana
Grass_max	NDVI máximo de las zonas herbáceas
Crop_max	NDVI máximo de los cultivos
prom_max	NDVI máximo de la provincia
Broa_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI
Wood_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI
Sava_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI
Grass_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI
Crop_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI
prom_sd	Desviación típica del correspondiente NDVI

<b>vx</b>	Componente x del viento
<b>vy</b>	Componente y del viento
<b>vmean</b>	Velocidad del viento
<b>tmax</b>	Temperatura máxima
<b>tmin</b>	Temperatura mínima
<b>tmean</b>	Temperatura media
<b>rh</b>	Humedad relativa
<b>soilmoisture</b>	Humedad del suelo
<b>sst</b>	Temperatura del suelo
<b>rain</b>	Lluvia
<b>MALARIA</b>	Indicador de malaria

Todos los ficheros con los datos utilizados, podrán ser consultados en el DVD anexo dentro de la carpeta Datos **Meteorológicos (WRF) Tanzania y NDVI 2005-2015**.

Los cinco tipos de cubierta vegetal son los más abundantes en la zona y se han tenido en cuenta tanto por separado, como incluidos en un NDVI promedio de cada provincia. Asimismo se han considerado las desviaciones típicas de todos ellos, entendiendo que quizá pudieran dar cuenta de la variabilidad del año considerado.

En cuanto a las variables meteorológicas, se han utilizado las componentes de la velocidad y la velocidad media del viento, las temperaturas máximas, medias y mínima, la humedad del suelo, la temperatura del suelo, la lluvia y un indicador del impacto de la malaria que va de 0 a 5. 0 Indica que no hay posibilidad de malaria, bien por la falta de lluvias o porque la temperatura está fuera de los límites de vida del vector, y de 1 a 4 corresponde a los datos extraídos de los Informes Anuales de malaria de los años 2010, 2011, 2012 y 2013 de la Organización Mundial de la Salud y que se muestran a continuación.

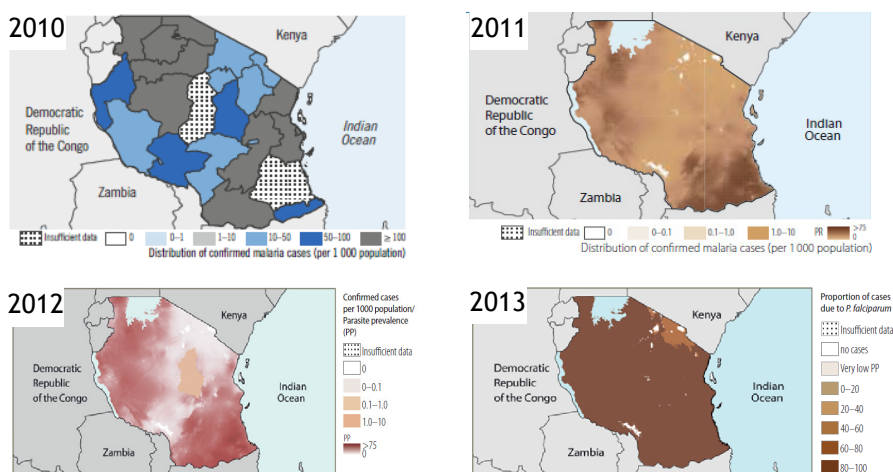
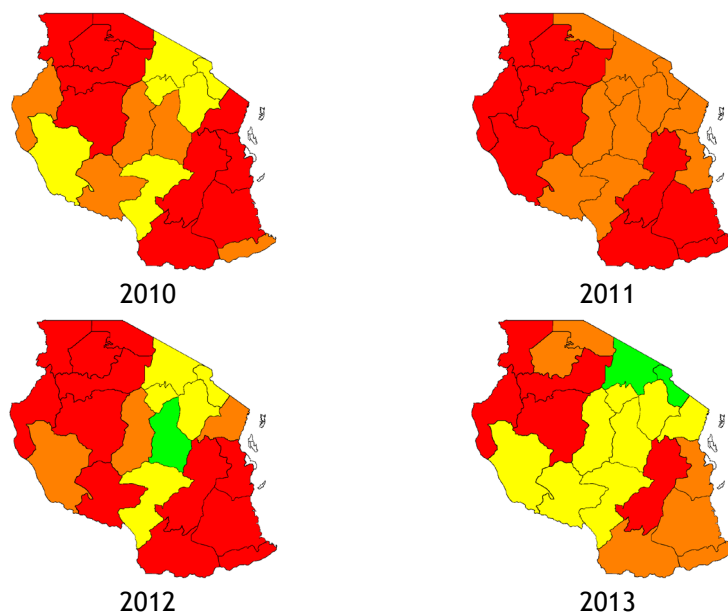


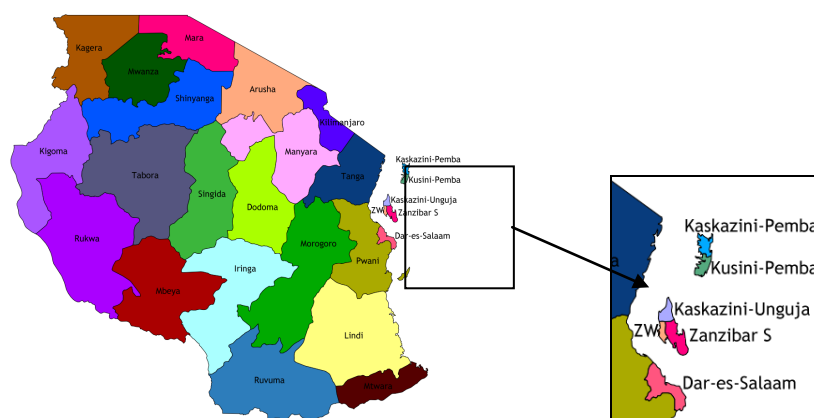
Figura 74: Resultados de los informes anuales extraídos de la Organización Mundial de la Salud.

La traducción del indicador de impacto se representa en los mapas siguientes, siendo: 4 máximo (en rojo en los mapas), 3 muy elevado (en naranja), 2 medio (en amarillo) y 1 bajo (en verde).



**Figura 75:** Indicador de impacto de malaria derivado de los resultados de la Organización Mundial de la Salud.

La metodología utilizada ha sido aplicada provincia por provincia a 20 de las 26 provincias. Las seis restantes no han sido analizadas debido a su pequeña superficie: tres están en la isla de Zanzibar, con 248, 435 y 873 km<sup>2</sup>, dos en la isla de Pemba, con 453 y 438 km<sup>2</sup>, y por último la capital Dar-es-Salaam, que por sus características tiene unas condiciones muy diferentes de las restantes provincias.



**Figura 76:** Regiones eliminadas del cálculo.

Para los cálculos se ha utilizado el programa StatGraphics Centurión XVI, Versión 16.2.04 64 bits.

Tras varios intentos con otros métodos multi-variantes que no dieron resultados satisfactorios optamos por el análisis cluster, método Ward, tomando como distancia entre variables la distancia euclídea al cuadrado.

Como es bien sabido los procesos de clusterización avanzan por tentativa y error, por lo que en un primer paso introducimos todas las variables y probamos con un número de clusters variable. Posteriormente se han ido separando las variables que quedan más alejadas del indicador de “malaria” o aquéllas que forman clusters separados, reteniendo las que muestran una distancia más próxima a la malaria y por tanto, quedan retenidas en su mismo cluster.

En general las desviaciones estándar de los NDVI solían aparecer dentro del mismo cluster; lo mismo ocurría con las velocidades del viento y con las temperaturas. Los índices de vegetación de las diferentes cubiertas vegetales tienen comportamientos diversos, en ocasiones aparecían unidas algunas clases en una provincia, y sin embargo en otras estaban separadas, pero siempre ha habido alguno o algunos, próximos al indicador de malaria. Para seleccionar el más adecuado hemos tenido en cuenta también la superficie de cada clase, ya que en ocasiones el NDVI más próximo correspondía a una clase muy minoritaria. Pero en cualquier caso la distancia malaria-NDVI ha sido en general muy pequeña. Las variables retenidas han sido en algunas ocasiones tres, en otras dos y otras, una sola.

Un caso singular es la lluvia, aparece siempre bastante distante de la malaria e incluso de algunas variables que dependen de la precipitación, como la humedad relativa. Esto demuestra que nuestra hipótesis básica de que la lluvia es el origen de todo el proceso, pero la relación cuantitativa con las condiciones que dependen de ella es confusa.

También es de señalar que las provincias costeras dan resultados muy diferentes a las del interior, con agrupamientos diferentes. Todas y cada una de las provincias han sido analizadas por separado y los resultados obtenidos son representados en un dendograma, que no es otra cosa que la representación gráfica en forma de árbol que organiza los datos en subcategorías. Este tipo de representación permite apreciar las relaciones de agrupación entre los datos e incluso entre grupos de ellos aunque no las relaciones de similitud o cercanía entre categorías.

Una vez seleccionadas las variables más próximas al indicador de “malaria”, incluidas en el mismo cluster, hemos comparado sus valores utilizando el mismo paquete estadístico, es decir StatGraphics, para aquellas situaciones en que el indicador de malaria es cero frente a aquellas en las que es distinto de cero. En la comparación hemos obtenido el histograma de frecuencias, la gráfica de la densidad y el diagrama de “cajas y bigotes”.

En general los resultados han sido muy satisfactorios y muestran una buena separabilidad de las situaciones de “malaria” de las de “no malaria”. La Figura siguiente muestra la traza del NDVI promedio para la provincia de Mbeya. En rojo el NDVI en situación de “no malaria” y en azul en situación de “malaria”.

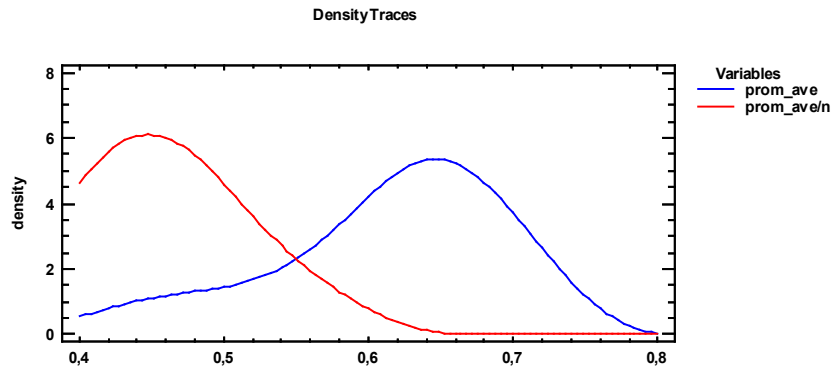


Figura 77: En rojo el NDVI en situación de “no malaria” y en azul en situación de “malaria”.

## 6.2 Resultados

### 6.2.1 Mbeya (1)

Provincia situada al suroeste de Tanzania, influenciada por el lago Rukwa. En esta provincia la malaria correlaciona con el valor medio del NDVI, la humedad relativa y la humedad del suelo.

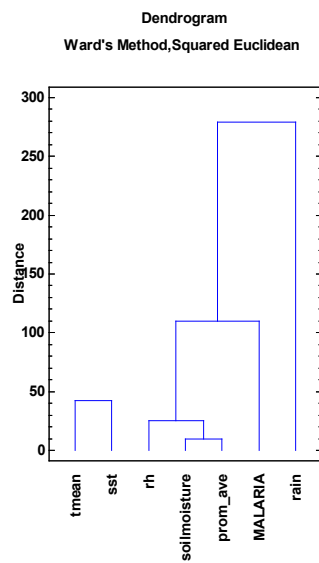


Figura 78: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 1, Mbeya

Tabla 21: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 1, Mbeya

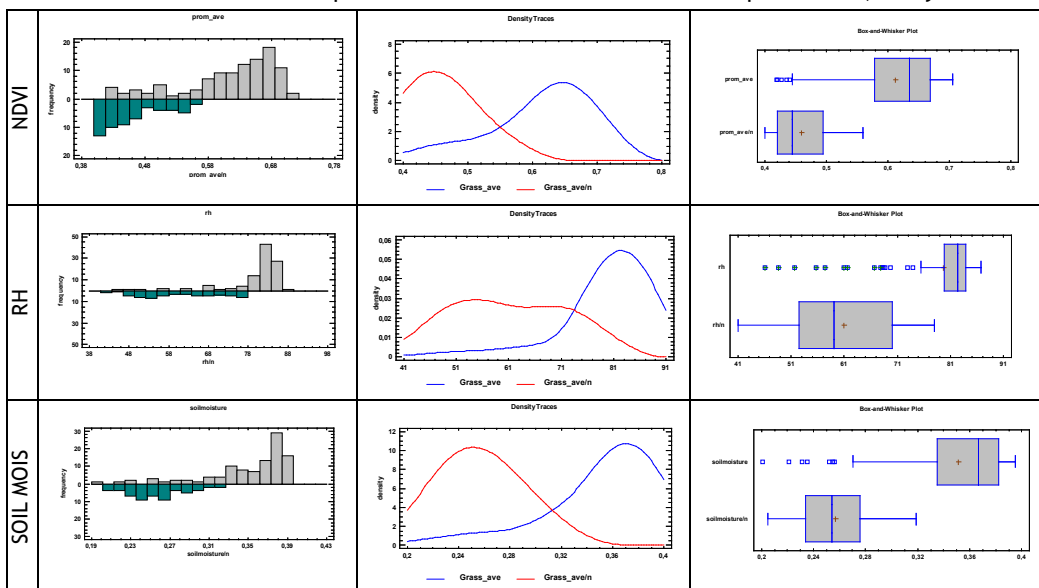




Tabla 22: Resumen de las estadísticas de la provincia número 1, Mbeya.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	57	104	57	104	57
<b>Media</b>	0'61	0'46	79'67	61'02	0'35	0'26
<b>Desviación Estándar</b>	0'08	0'05	8'08	10'49	0'04	0'03
<b>Coficiente de variación</b>	0'12	0'10	0'10	0'17	0'12	0'12
<b>Mínimo</b>	0'42	0'40	46'10	41'04	0'20	0'21
<b>Máximo</b>	0'71	0'56	86'80	77'93	0'40	0'32
<b>Rango</b>	0'29	0'16	40'71	36'89	0'19	0'11
<b>Std. skewness</b>	-4'43	2'12	-10'24	0'09	-6'39	0'77
<b>Std. kurtosis</b>	0'49	-1'14	12'49	-1'91	4'06	-1'02

### 6.2.2 Rukwa (2)

Está situada en el oeste del país y está bajo la influencia de los lagos Tanganica y Rukwa. El NDVI que correlaciona con la malaria se corresponde con el tipo de suelo mayoritario en la región, la sabana arbolada, la cual ocupa con el 44% del suelo de la provincia. También correlaciona con la humedad relativa, pero no con la humedad del suelo.

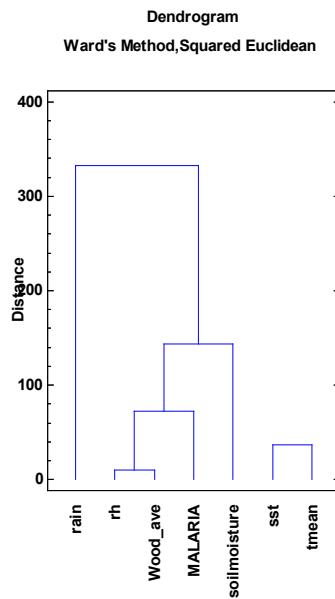
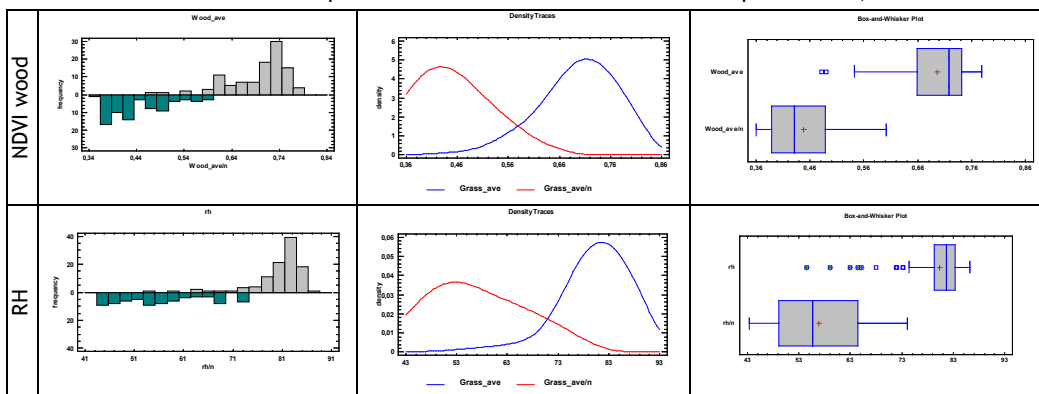


Figura 79: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 2, Rukwa.

Tabla 23: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 2, Rukwa.



**Tabla 24:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 2, Rukwa.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa	
	Wood_ave	Wood_ave/n	rh	rh/n
<b>Número</b>	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'70	0'45	80'26	56'88
<b>Desviación Estándar</b>	0'06	0'07	5'46	8'95
<b>Coeficiente de variación</b>	0'09	0'15	0'07	0'16
<b>Mínimo</b>	0'48	0'36	54'60	43'46
<b>Máximo</b>	0'78	0'60	86'25	74'10
<b>Rango</b>	0'30	0'24	31'65	30'64
<b>Std. skewness</b>	-5'24	2'38	-10'27	1'34
<b>Std. kurtosis</b>	2'82	-1'03	14'94	-1'77
<b>Rango</b>	0,297	0,24	31,654	30,641
<b>Std. skewness</b>	-5,24234	2,38114	-10,2715	1,33904
<b>Std. kurtosis</b>	2,81977	-1,03043	14,9372	-1,76669

### 6.2.3 Mwanza (4)

Al norte, influenciada por el lago Victoria. La malaria correlaciona con el valor medio del NDVI de toda la provincia. Los cultivos y los promedios son las clases más abundantes.

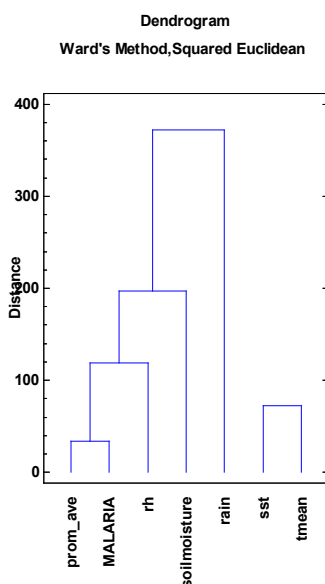


Figura 80: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 4, Mwanza.

Tabla 25: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 4, Mwanza.

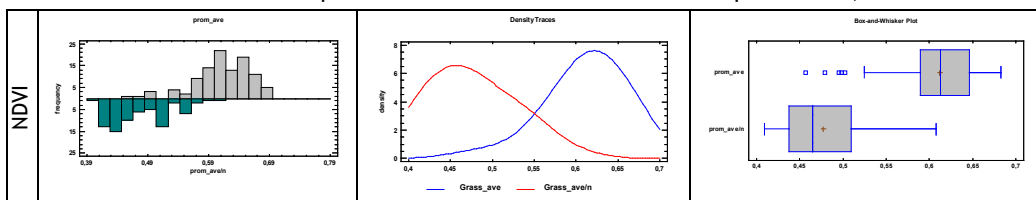


Tabla 26: Resumen de las estadísticas de la provincia número 4, Mwanza.

Estadísticas	NDVI	
	prom_ave	prom_ave/n
Número	104	76
Media	0'61	0'48
Desviación Estándar	0'05	0'05
Coefficiente de variación	0'07	0'10
Mínimo	0'46	0'41
Máximo	0'68	0'61
Rango	0'23	0'20
Stnd. skewness	-4'20	2'08
Stnd. kurtosis	2'60	-0'97

### 6.2.4 Shinyanga (5)

Al norte del país, correlaciona con el valor medio de NDVI de la provincia aunque la clase mayoritaria es la Sabana, además tiene correlación con la humedad relativa, pero no con la humedad del suelo.

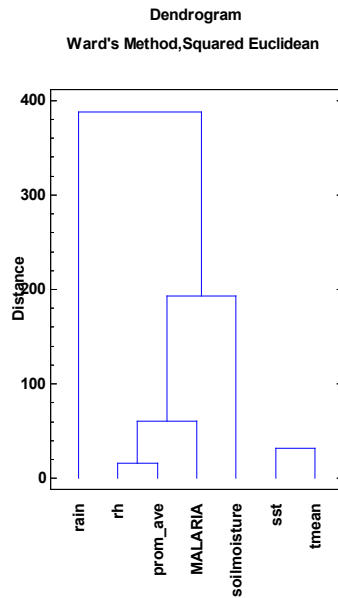
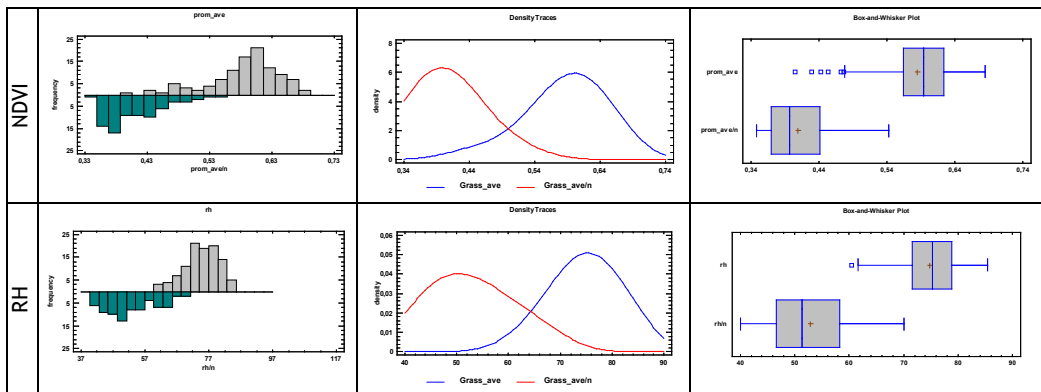


Figura 81: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 5, Shinyanga.

Tabla 27: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 5, Shinyanga.



**Tabla 28:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 5, Shinyanga.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'59	0'41	74'70	52'82
<b>Desviación Estándar</b>	0'06	0'05	5'39	7'75
<b>Coeficiente de variación</b>	0'10	0'11	0'07	0'15
<b>Mínimo</b>	0'41	0'35	60'51	40'02
<b>Máximo</b>	0'68	0'54	85'41	70'12
<b>Rango</b>	0'28	0'19	24'89	30'10
<b>Std. skewness</b>	-3'98	3'31	-1'82	1'28
<b>Std. kurtosis</b>	1'63	0'48	-0'66	-1'48

### 6.2.5 Tabora (6)

Zona central del país, correlaciona con la sabana arbolada (68% del suelo), aunque la clase mayoritaria es la sabana (24% del suelo). En esta ocasión la lluvia no aparece en el diagrama. Además correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo.

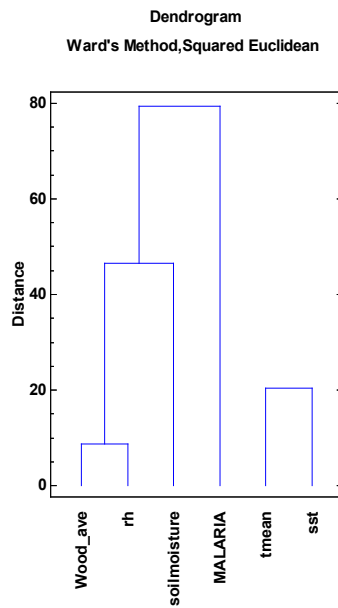
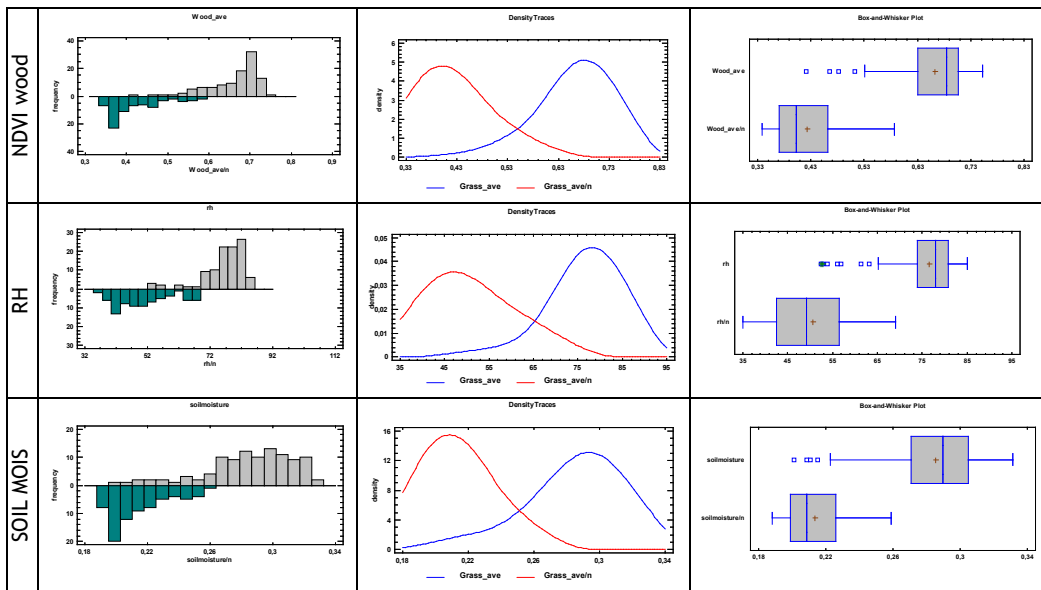


Figura 82: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 6, Tabora.

Tabla 29: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 6, Tabora.



**Tabla 30:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 6, Tabora.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	Wood_ave	Wood_ave/n	rh	rh/n	Soil moisture	Soil moisture/n
<i>Número</i>	104	76	104	76	104	76
<i>Media</i>	0'66	0'42	76'58	50'60	0'29	0'21
<i>Desviación Estándar</i>	0'06	0'07	6'80	8'97	0'03	0'02
<i>Coficiente de variación</i>	0'10	0'15	0'09	0'18	0'10	0'09
<i>Mínimo</i>	0'42	0'34	52'42	35'06	0'20	0'19
<i>Máximo</i>	0'75	0'59	85'06	69'01	0'33	0'26
<i>Rango</i>	0'33	0'25	32'64	33'96	0'13	0'07
<i>Std. skewness</i>	-5'99	3'23	-7'58	1'95	-3'96	2'85
<i>Std. kurtosis</i>	4'24	-0'20	7'62	-1'40	1'38	-0'78



### 6.2.6 Kagera (7)

Noroeste de Tanzania, influenciado por el lago Victoria. La malaria correlaciona con el NDVI medio de la provincia aunque la clase mayoritaria es la sabana leñosa. Además correlaciona con la humedad relativa.

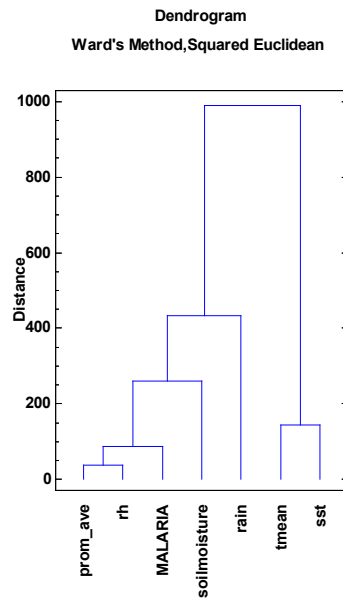
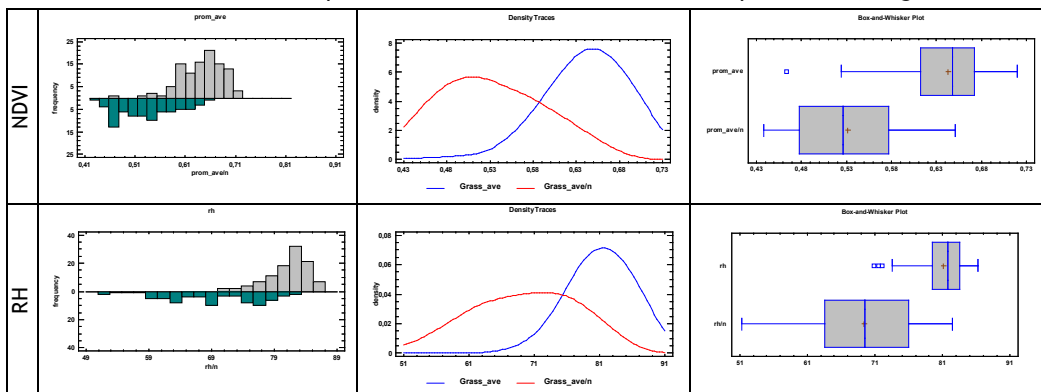


Figura 83: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 7, Kagera.

Tabla 31: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 7, Kagera.



**Tabla 32:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 7, Kagera.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'64	0'53	81'15	69'41
<b>Desviación Estándar</b>	0'04	0'06	3'29	7'61
<b>Coeficiente de variación</b>	0'07	0'11	0'04	0'11
<b>Mínimo</b>	0'46	0'44	70'89	51'28
<b>Máximo</b>	0'72	0'65	86'19	82'49
<b>Rango</b>	0'26	0'21	15'30	31'21
<b>Std. skewness</b>	-4'04	1'12	-4'06	-1'16
<b>Std. kurtosis</b>	4'27	-1'64	1'73	-1'29

### 6.2.7 Kigoma (8)

Situada al oeste de Tanzania, se encuentra bajo la influencia del lago Tanganica. La malaria correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo, además de con el NDVI de la clase mayoritaria, sabana leñosa, la cual ocupa el 69% de la provincia.

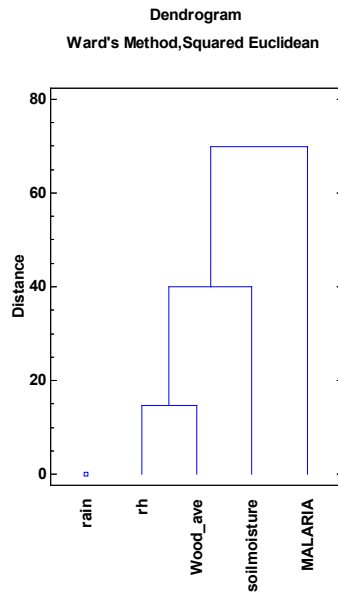
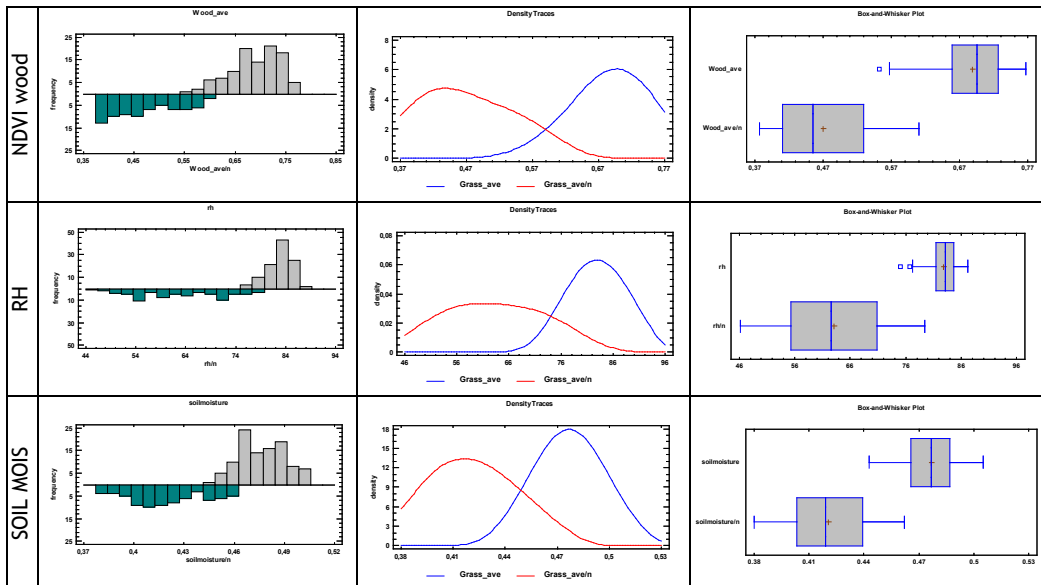


Figura 84: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 8, Kigoma.

Tabla 33: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 8, Kigoma.



**Tabla 34:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 8, Kigoma.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>wood_ave</i>	<i>wood_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'69	0'47	82'84	63'07	0'48	0'42
<b>Desviación Estándar</b>	0'05	0'07	2'34	8'89	0'01	0'02
<b>Coefficiente de variación</b>	0'07	0'14	0'03	0'14	0'03	0'05
<b>Mínimo</b>	0'55	0'38	75'03	46'24	0'44	0'38
<b>Máximo</b>	0'77	0'61	87'19	79'48	0'51	0'46
<b>Rango</b>	0'21	0'23	12'16	33'24	0'06	0'08
<b>Std. skewness</b>	-2'48	1'31	-3'15	0'13	0'07	0'52
<b>Std. kurtosis</b>	-0'39	-2'00	1'20	-1'95	-1'22	-1'72

### 6.2.8 Morogoro (10)

Al sur de Tanzania, correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo, mientras que el NDVI de la clase minoritaria, los pastos.

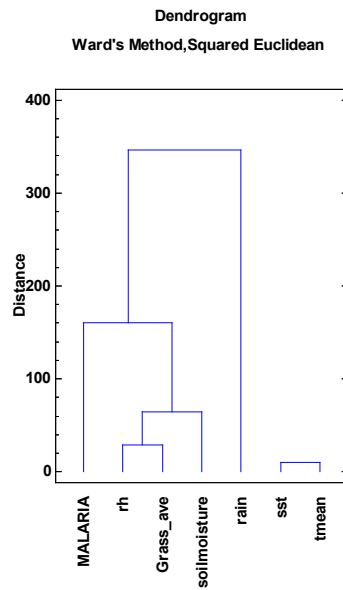
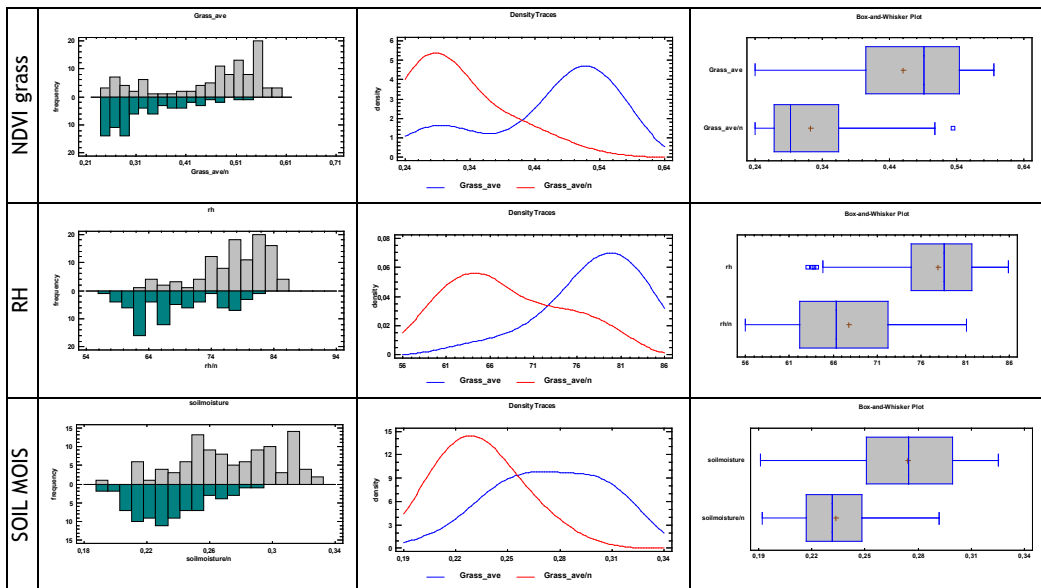


Figura 85: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 10, Morogoro.

Tabla 35: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 10, Morogoro.



**Tabla 36:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 10, Morogoro.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>grass_ave</i>	<i>grass_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'46	0'32	77'90	67'77	0'27	0'23
<b>Desviación Estándar</b>	0'10	0'07	5'34	6'45	0'03	0'02
<b>Coficiente de variación</b>	0'22	0'22	0'07	0'10	0'11	0'10
<b>Mínimo</b>	0'24	0'24	63'16	56'02	0'19	0'19
<b>Máximo</b>	0'60	0'53	85'85	81'10	0'33	0'29
<b>Rango</b>	0'35	0'29	22'70	25'08	0'13	0'10
<b>Std. skewness</b>	-3'53	3'80	-4'17	1'47	-1'07	1'78
<b>Std. kurtosis</b>	-1'29	0'58	1'21	-1'75	-1'55	-0'31

### 6.2.9 Pwani (13)

Se encuentra en la zona costera, únicamente correlaciona con la humedad relativa. La clase mayoritaria en la provincia es la sabana leñosa la cual ocupa el 60% de la provincia.

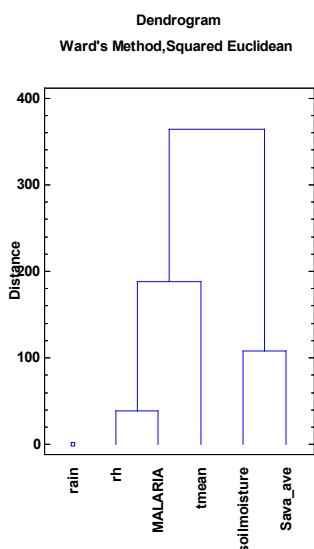


Figura 86: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 13, Pwani.

Tabla 37: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 13, Pwani.

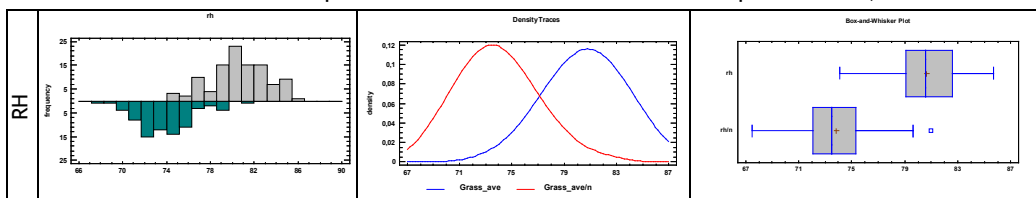


Tabla 38: Resumen de las estadísticas de la provincia número 13, Pwani.

Estadísticas	Humedad Relativa	
	rh	rh/n
Número	104	76
Media	80'63	73'83
Desviación Estándar	2'59	2'59
Coefficiente de variación	0'03	0'04
Mínimo	74'09	67'48
Máximo	85'70	80'99
Rango	11'62	13'51
Std. skewness	-0'95	1'64
Std. kurtosis	-0'65	0'75

### 6.2.10 Dodoma (16)

En la zona central del país, el NDVI correlaciona con la malaria con los valores de la clase mayoritaria, la sabana leñosa la cual ocupa el 70% del suelo. También muestra correlación con la humedad relativa y con la humedad del suelo.

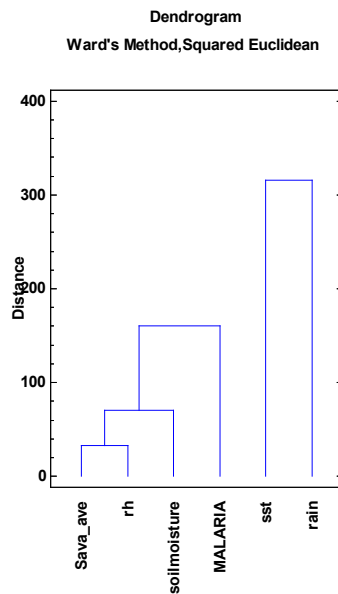
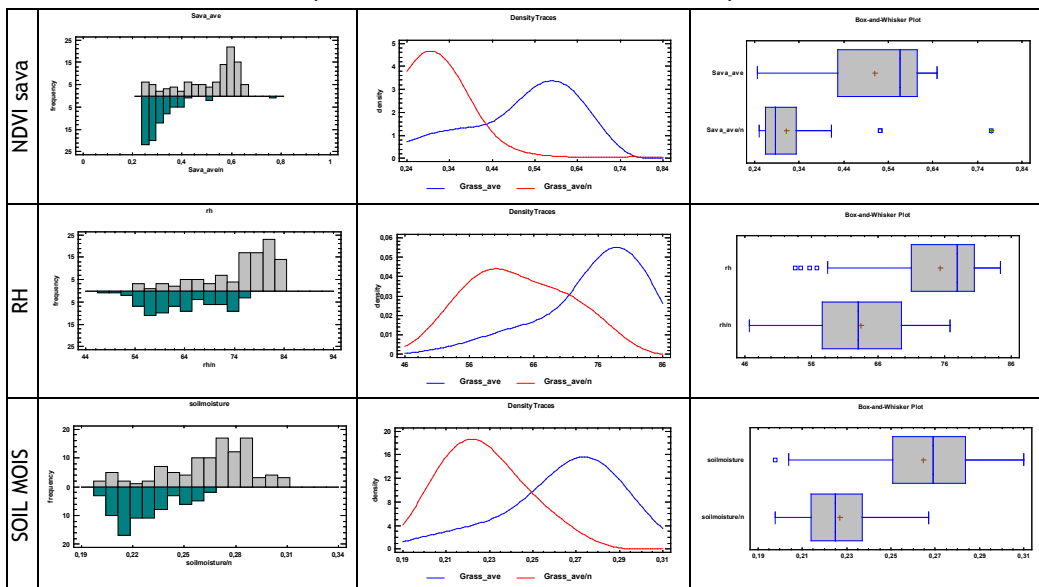


Figura 87: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 16, Dodoma.

Tabla 39: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 16, Dodoma.





**Tabla 40:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 16, Dodoma.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>sava_ave</i>	<i>sava_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'51	0'31	75'33	63'46	0'26	0'23
<b>Desviación Estándar</b>	0'12	0'08	7'49	7'24	0'03	0'02
<b>Coficiente de variación</b>	0'24	0'25	0'10	0'11	0'10	0'07
<b>Mínimo</b>	0'25	0'25	53'56	46'76	0'20	0'20
<b>Máximo</b>	0'65	0'77	84'37	76'72	0'31	0'27
<b>Rango</b>	0'40	0'52	30'81	29'96	0'11	0'07
<b>Std. skewness</b>	-3'59	12'13	-4'96	0'47	-3'18	2'06
<b>Std. kurtosis</b>	-1'22	29'45	1'31	-1'78	0'33	-0'96

### 6.2.11 Iringa (17)

Al suroeste del país, correlaciona con el valor medio de NDVI de la provincia y no con la clase mayoritaria en la provincia (sabana). Correlaciona también con la humedad relativa y con la humedad del suelo.

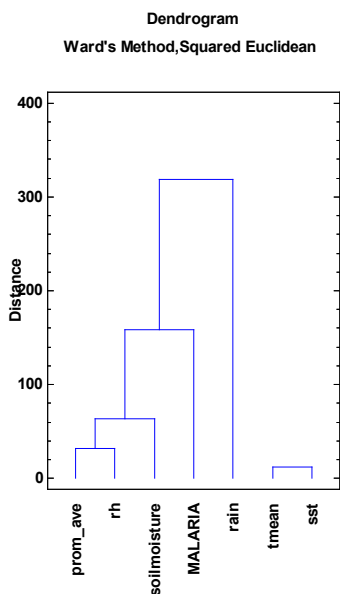
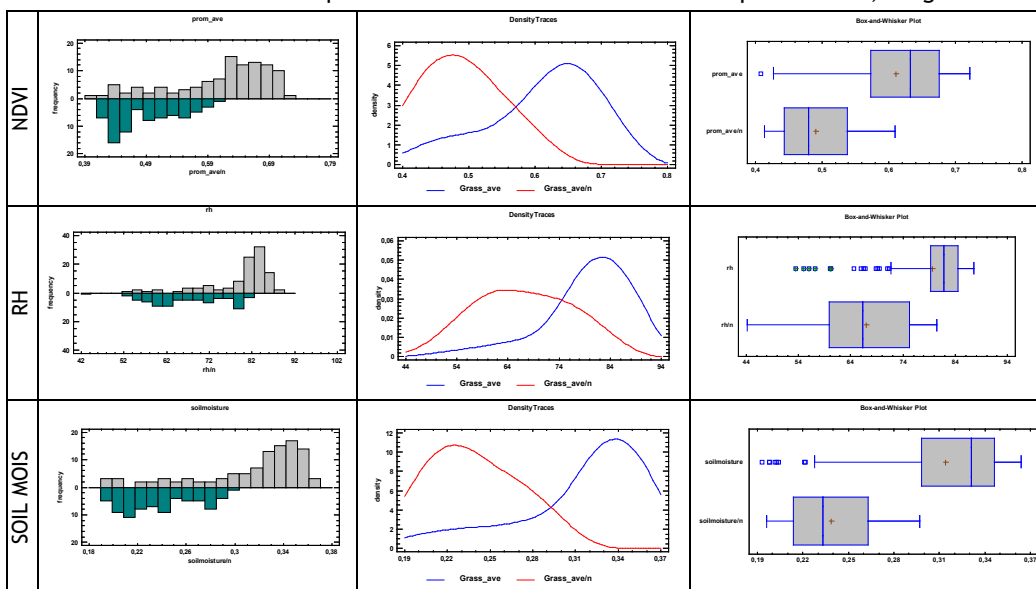


Figura 88: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 17, Iringa.

Tabla 41: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 17, Iringa.



**Tabla 42:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 17, Iringa.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'61	0'49	79'61	66'91	0'31	0'24
<b>Desviación Estándar</b>	0'08	0'05	7'60	8'78	0'05	0'03
<b>Coficiente de variación</b>	0'13	0'11	0'10	0'13	0'14	0'12
<b>Mínimo</b>	0'41	0'41	53'45	44'19	0'19	0'20
<b>Máximo</b>	0'72	0'61	87'61	80'53	0'36	0'30
<b>Rango</b>	0'31	0'20	34'16	36'34	0'17	0'10
<b>Stnd. skewness</b>	-3'80	1'65	-7'54	-0'27	-5'25	1'37
<b>Stnd. kurtosis</b>	-0'33	-1'79	5'92	-1'58	1'19	-1'93

### 6.2.12 Lindi (18)

Se encuentra en la zona costera, la malaria correlaciona con la segunda clase más abundante de la provincia, la sabana leñosa. Tiene buena correlación con la humedad relativa y la humedad del suelo.

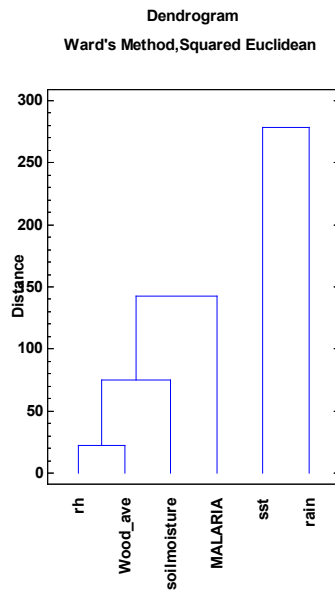


Figura 89: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 18, Lindi.

Tabla 43: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 18, Lindi.

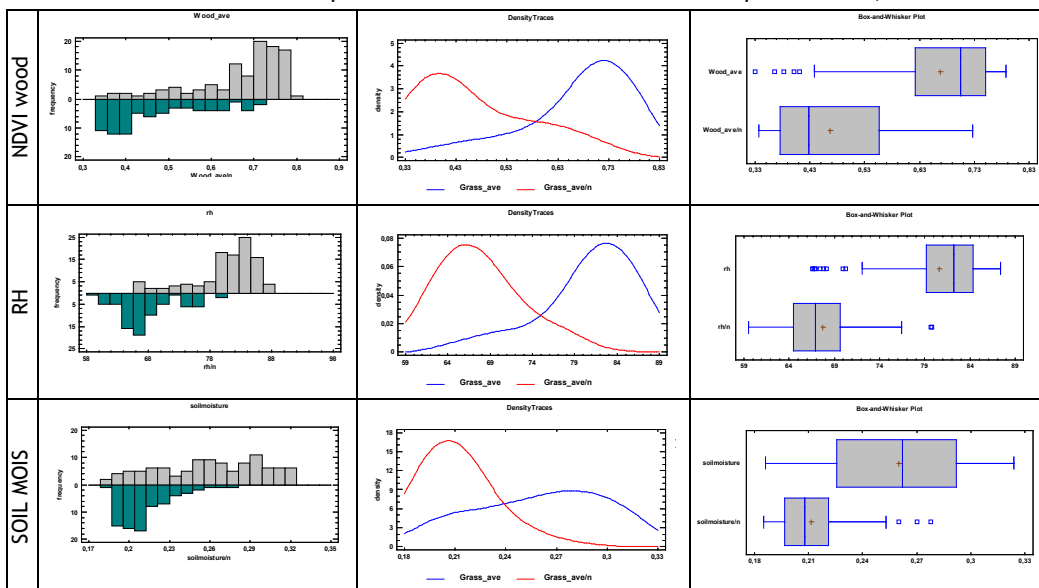


Tabla 44: Resumen de las estadísticas de la provincia número 18, Lindi.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>wood_ave</i>	<i>wood_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'67	0'47	80'61	67'71	0'26	0'21
<b>Desviación Estándar</b>	0'11	0'11	5'28	4'56	0'04	0'02
<b>Coficiente de variación</b>	0'16	0'24	0'07	0'07	0'15	0'09
<b>Mínimo</b>	0'33	0'34	66'59	59'56	0'19	0'19
<b>Máximo</b>	0'79	0'73	87'37	79'80	0'32	0'28
<b>Rango</b>	0'46	0'39	20'78	20'24	0'14	0'09
<b>Stnd. skewness</b>	-5'47	2'70	-5'28	2'78	-1'05	4'71
<b>Stnd. kurtosis</b>	2'08	-1'14	1'82	0'21	-2'12	2'98

### 6.2.13 Mtwara (19)

Al sur del país y con parte de su frontera en la zona costera, correlaciona con el NDVI de la clase mayoritaria, la sabana, la cual ocupa el 87% del país. Además correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo.

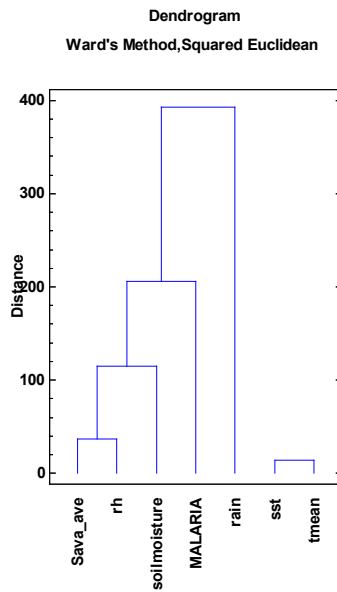


Figura 90: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 19, Mtwara.

Tabla 45: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 19, Mtwara.

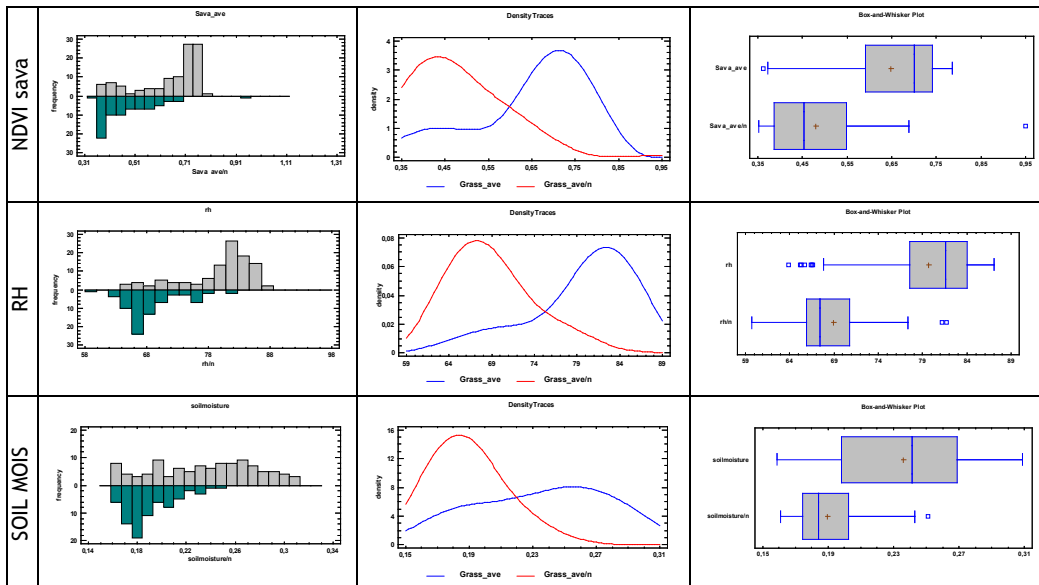


Tabla 46: Resumen de las estadísticas de la provincia número 19, Mtwara.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>sava_ave</i>	<i>sava_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<i>Número</i>	104	76	104	76	104	76
<i>Media</i>	0'65	0'48	79'62	68'90	0'24	0'19
<i>Desviación Estándar</i>	0'12	0'11	5'85	4'47	0'04	0'02
<i>Coficiente de variación</i>	0'19	0'22	0'07	0'06	0'18	0'11
<i>Mínimo</i>	0'36	0'35	63'90	59'77	0'16	0'16
<i>Máximo</i>	0'79	0'95	87'05	81'71	0'31	0'25
<i>Rango</i>	0'42	0'60	23'15	21'94	0'15	0'09
<i>Std. skewness</i>	-4'59	5'12	-4'80	3'42	-0'72	3'54
<i>Std. kurtosis</i>	-0'37	6'15	0'73	0'79	-2'11	0'80

### 6.2.14 Ruvuma (20)

Al sur del país, influenciada por el lago Malawi, correlaciona con el NDVI de la clase mayoritaria, la sabana leñosa, la cual ocupa el 74% del país. Además correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo.

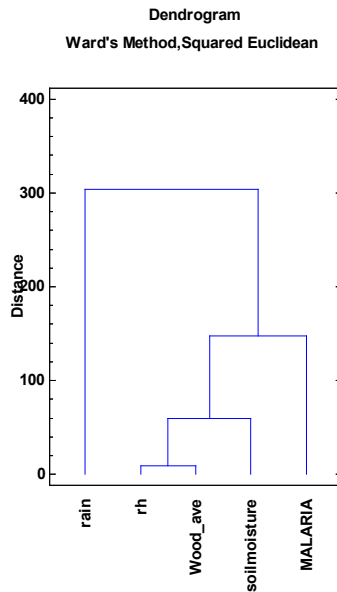
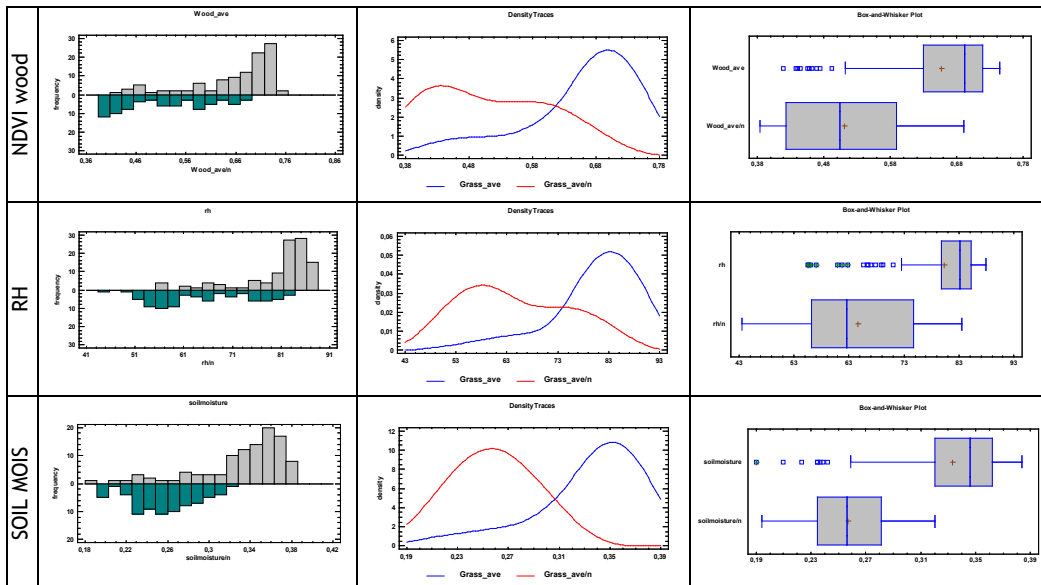


Figura 91: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 20, Ruvuma.

Tabla 47: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 20, Ruvuma.





**Tabla 48:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 20, Ruvuma.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>wood_ave</i>	<i>wood_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<i>Número</i>	104	76	104	76	104	76
<i>Media</i>	0,66	0,51	80,31	64,57	0,33	0,26
<i>Desviación Estándar</i>	0,08	0,09	7,80	10,14	0,04	0,03
<i>Coefficiente de variación</i>	0,13	0,18	0,10	0,16	0,13	0,12
<i>Mínimo</i>	0,42	0,38	55,56	43,56	0,19	0,19
<i>Máximo</i>	0,74	0,69	87,95	83,44	0,38	0,32
<i>Rango</i>	0,33	0,31	32,38	39,89	0,19	0,13
<i>Stnd. skewness</i>	-5,66	1,02	-7,44	1,03	-5,98	-0,24
<i>Stnd. kurtosis</i>	1,79	-2,21	5,18	-2,11	3,32	-1,04

### 6.2.15 Singida (21)

En el centro del país, correlaciona tanto con la humedad relativa como con la humedad del suelo además de con el NDVI de la clase mayoritaria, la sabana, la cual ocupa el 80%.

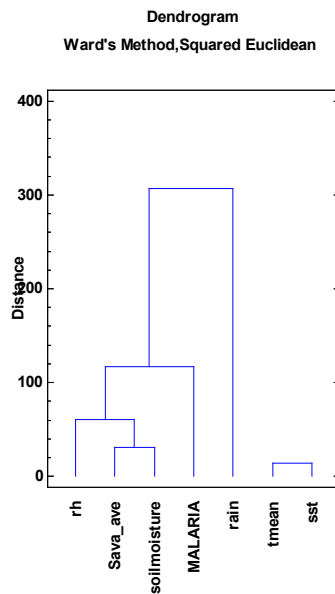


Figura 92: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 21, Singida.

Tabla 49: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 21, Singida.

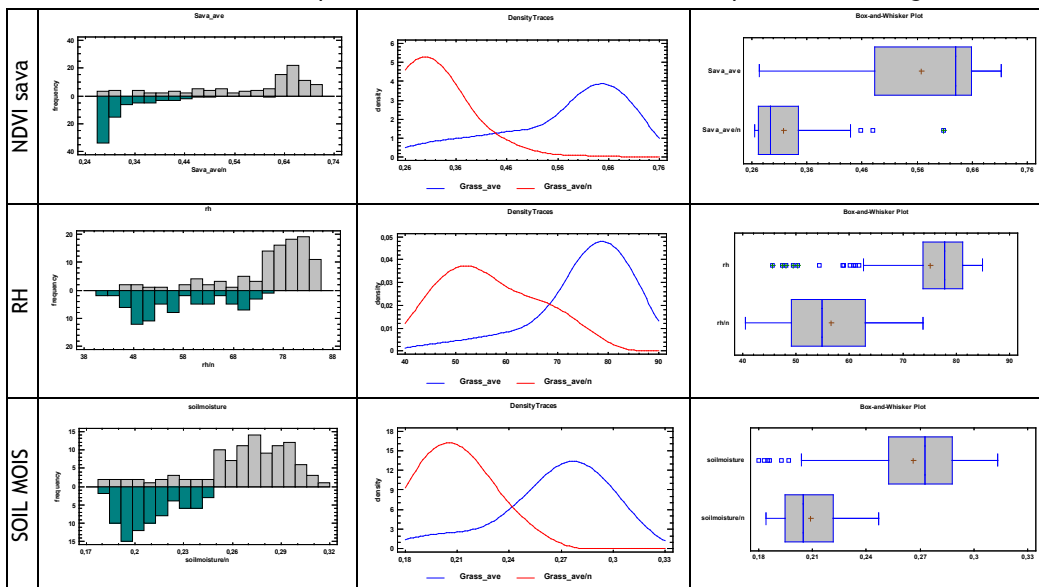


Tabla 50: Resumen de las estadísticas de la provincia número 21, Singida.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>sava_ave</i>	<i>sava_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'57	0'32	75'19	56'52	0'27	0'21
<b>Desviación Estándar</b>	0'12	0'06	9'02	9'01	0'03	0'02
<b>Coefficiente de variación</b>	0'22	0'20	0'12	0'16	0'12	0'08
<b>Mínimo</b>	0'27	0'27	45'65	40'63	0'18	0'18
<b>Máximo</b>	0'71	0'61	84'92	73'80	0'31	0'25
<b>Rango</b>	0'44	0'34	39'27	33'17	0'13	0'06
<b>Std. skewness</b>	-4'08	7'23	-6'80	1'38	-4'43	2'01
<b>Std. kurtosis</b>	-0'51	9'50	4'61	-1'84	1'51	-1'36

### 6.2.16 Arusha (22)

Al norte del país, correlaciona con el NDVI de la clase mayoritaria, los pastos, la cual ocupa el 69% del país. Además correlaciona con la humedad relativa y la humedad del suelo.

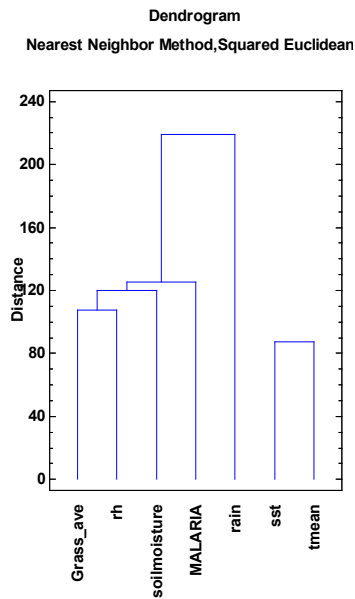


Figura 93: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 22, Arusha.

Tabla 51: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 22, Arusha.

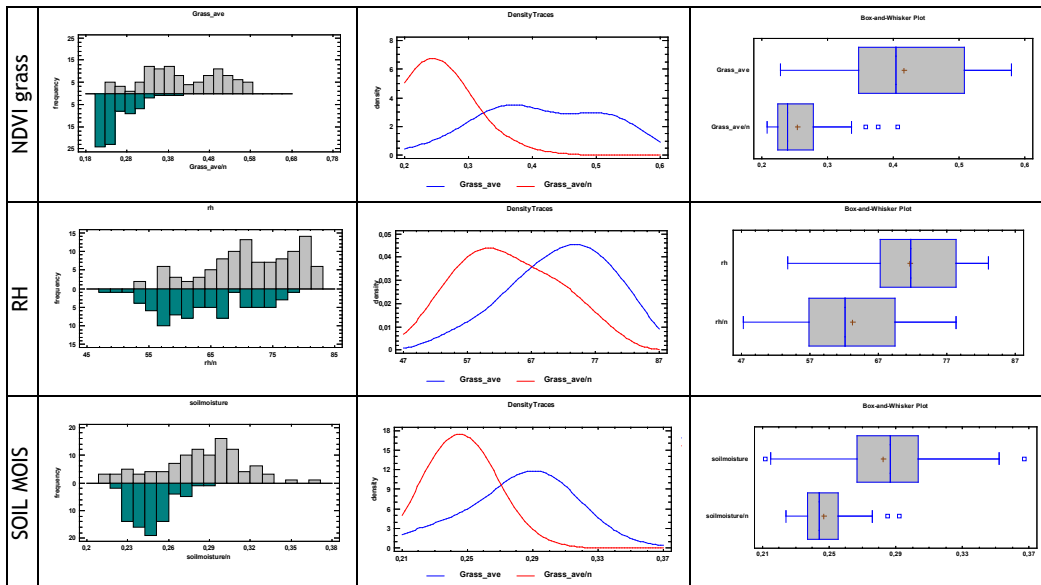


Tabla 52: Resumen de las estadísticas de la provincia número 22, Arusha.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa		Humedad del suelo	
	<i>grass_ave</i>	<i>grass_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>	<i>Soil moisture</i>	<i>Soil moisture/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'42	0'25	71'58	63'26	0'28	0'25
<b>Desviación Estándar</b>	0'09	0'04	7'35	7'38	0'03	0'01
<b>Coefficiente de variación</b>	0'22	0'17	0'10	0'12	0'11	0'06
<b>Mínimo</b>	0'23	0'21	53'79	47'29	0'21	0'22
<b>Máximo</b>	0'58	0'41	83'04	78'36	0'37	0'29
<b>Rango</b>	0'35	0'20	29'24	31'08	0'16	0'07
<b>Stnd. skewness</b>	-0'30	4'96	-2'07	0'66	-1'13	3'03
<b>Stnd. kurtosis</b>	-2'03	3'27	-1'10	-1'57	-0'11	1'29

### 6.2.17 Mayara (23)

Al norte de Tanzania, solo correlaciona con el NDVI medio de la provincia.

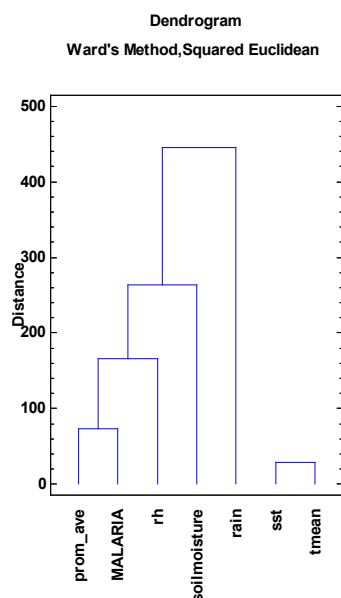


Figura 94: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 23, Mayara.

Tabla 53: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 23, Mayara.

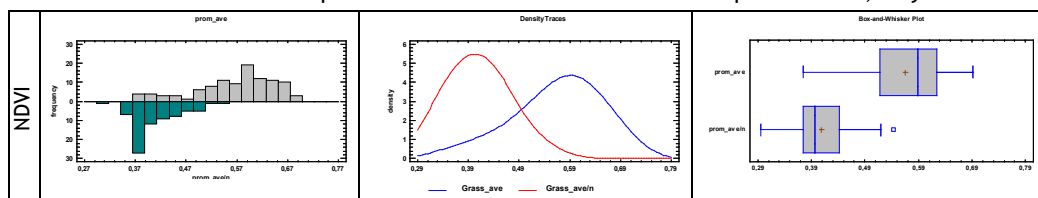


Tabla 54: Resumen de las estadísticas de la provincia número 23, Mayara.

Estadísticas	NDVI	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>
<b>Número</b>	104	76
<b>Media</b>	0'56	0'41
<b>Desviación Estándar</b>	0'08	0'05
<b>Coefficiente de variación</b>	0'14	0'11
<b>Mínimo</b>	0'37	0'30
<b>Máximo</b>	0'69	0'54
<b>Rango</b>	0'32	0'25
<b>Stnd. skewness</b>	-3'23	2'43
<b>Stnd. kurtosis</b>	-0'15	0'57

### 6.2.18 Kilimanjaro (24)

Al norte de Tanzania, correlaciona únicamente con la clase menos representativa en la provincia.

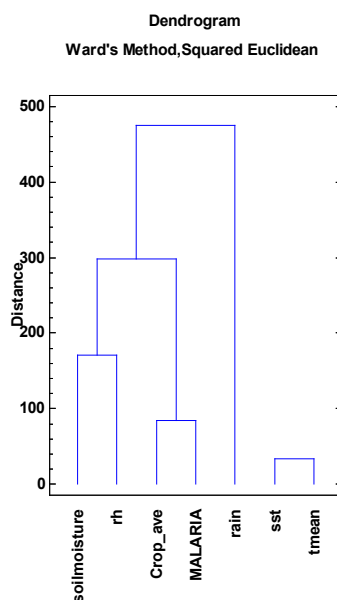


Figura 95: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 24, Kilimanjaro.

Tabla 55: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 24, Kilimanjaro.

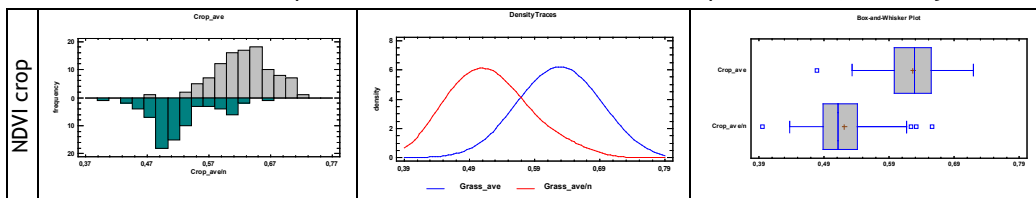


Tabla 56: Resumen de las estadísticas de la provincia número 24, Kilimanjaro.

Estadísticas	NDVI	
	crop_ave	crop_ave/n
Número	104	76
Media	0'63	0'52
Desviación Estándar	0'05	0'05
Coefficiente de variación	0'07	0'10
Mínimo	0'48	0'40
Máximo	0'72	0'66
Rango	0'24	0'26
Stnd. skewness	-1'15	2'16
Stnd. kurtosis	0'16	0'42

### 6.2.19 Mara (25)

Situada al norte de Tanzania e influenciada por el lago Victoria, solo correlaciona con la humedad relativa además de con el valor medio del NDVI de la región.

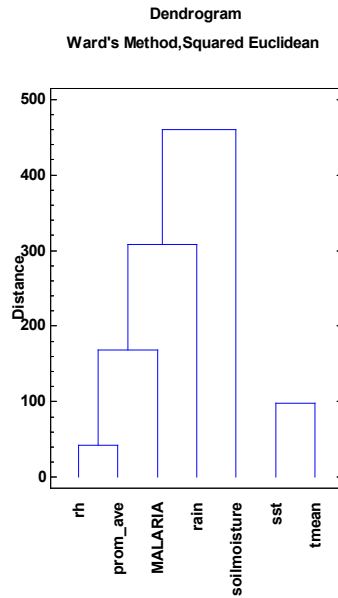
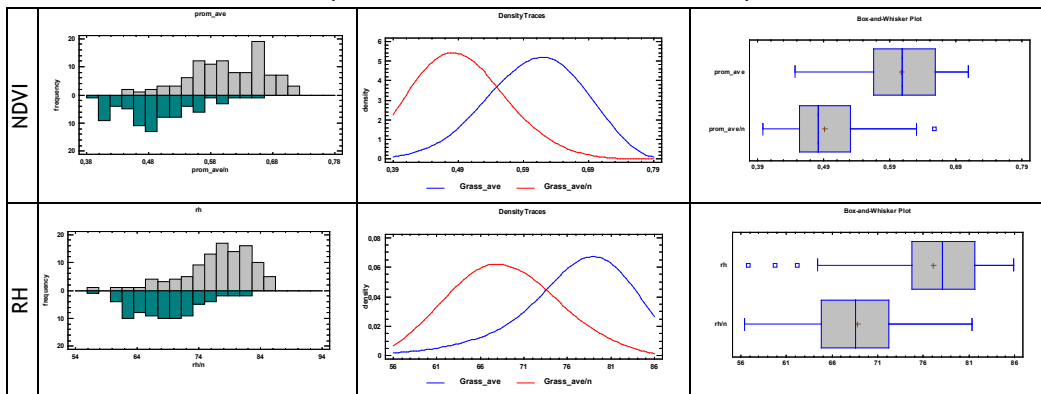


Figura 96: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 25, Mara.

Tabla 57: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 25, Mara.





**Tabla 58:** Resumen de las estadísticas de la provincia número 25, Mara.

Estadísticas	NDVI		Humedad Relativa	
	<i>prom_ave</i>	<i>prom_ave/n</i>	<i>rh</i>	<i>rh/n</i>
<b>Número</b>	104	76	104	76
<b>Media</b>	0'61	0'49	77'08	68'77
<b>Desviación Estándar</b>	0'06	0'06	5'75	5'36
<b>Coeficiente de variación</b>	0'10	0'12	0'07	0'08
<b>Mínimo</b>	0'45	0'40	56'81	56'45
<b>Máximo</b>	0'71	0'66	85'88	81'35
<b>Rango</b>	0'26	0'26	29'07	24'90
<b>Std. skewness</b>	-1'92	1'81	-4'48	0'90
<b>Std. kurtosis</b>	-0'71	-0'13	2'74	-0'68

### 6.2.20 Tanga (26)

Situada en la zona costera, solo correlaciona una de las clases minoritarias, la cual ocupa el 5% de la provincia.

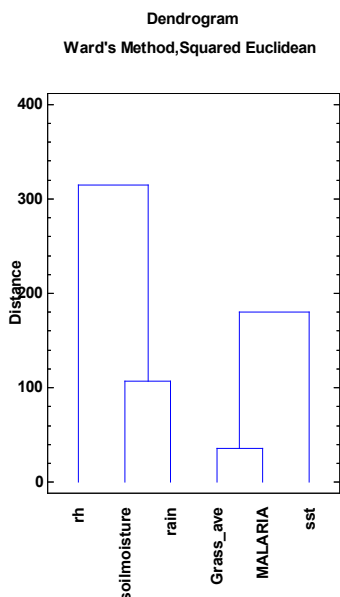


Figura 97: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 26, Tanga.

Tabla 59: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 26, Tanga.

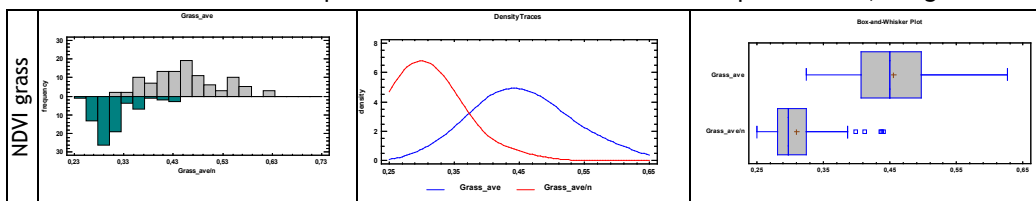


Tabla 60: Resumen de las estadísticas de la provincia número 26, Tanga.

Estadísticas	NDVI	
	grass_ave	grass_ave/n
Número	104	76
Media	0'46	0'31
Desviación Estándar	0'07	0'04
Coefficiente de variación	0'15	0'14
Mínimo	0'33	0'25
Máximo	0'63	0'44
Rango	0'30	0'19
Stnd. skewness	1'58	5'13
Stnd. kurtosis	-0'49	3'29

Si comparamos las correlaciones de cada una de las provincias, se observa que más de la mitad de ella muestran correlación de la malaria con las tres variables, NDVI, humedad relativa y humedad del suelo.

Curiosamente, ninguna de las tres provincias que están influenciadas por el lago Victoria, tiene correlación con las tres variables y ninguna tiene correlación con las clases mayoritarias, sino con los valores promedios.

### 6.3 Metodología para establecer un índice de riesgo provincial

La ubicación de los límites ha sido una cuestión de oportunidad. Se ha supuesto que hasta el punto de cruce de ambas trazas “no malaria”, en rojo, y “malaria” en azul, el riesgo es bajo. Entre este punto y hasta el máximo de los valores correspondientes a “malaria” el riesgo es alto y, más allá, extremo. En ningún momento hemos considerado “riesgo nulo” ni incluso en las épocas más secas y con los parámetros más alejados de la zona de “malaria” ya que siendo una zona endémica y con los catos conocidos, hablar de “sin riesgo” en Tanzania es ciertamente una hipótesis muy aventurada.

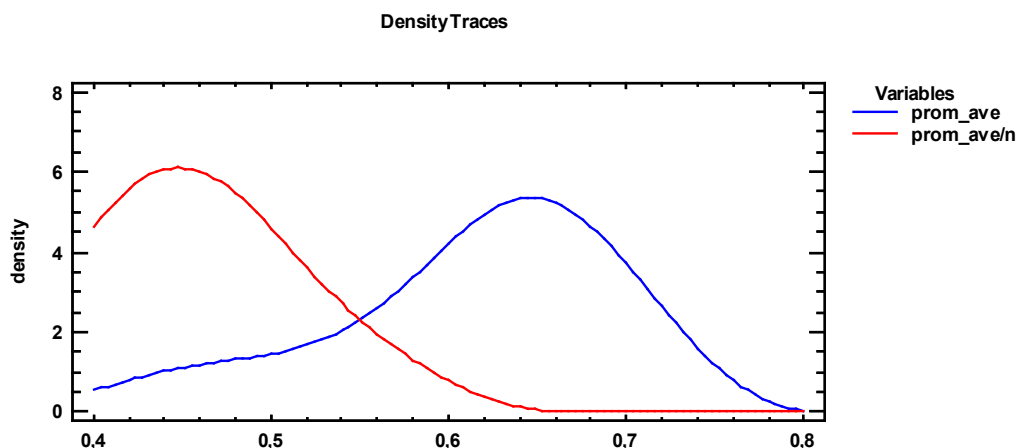


Figura 98: En rojo el NDVI en situación de “no malaria” y en azul en situación de “malaria”

Este mismo proceso se ha seguido para cada una de las variables. El nivel de riesgo final atribuido a la provincia es el que resulte más elevado después de analizar cada una de las variables involucradas. Creemos que para un índice de riesgo de enfermedad grave, es más prudente operar así, aunque es uno de los puntos a analizar en el futuro.

Si analizamos cada provincia por separado y establecemos umbrales en cada una de ellas, obtenemos la siguiente tabla.

Tabla 61: Umbrales provinciales.

Prov	NDVI	RH	SOIL MOIs
1	Promedio NDVI<0'53 bajo 0'53≤NDVI≤0'67 alto NDVI≤0'67 extremo	RH<72 bajo 72≤RH≤82 alto RH≤82 extremo	SM<0'31 bajo 0'31≤SM≤0'37 alto RH≤0'37 extremo
2	Woody Savanna NDVI<0'58 bajo 0'58≤NDVI≤0'68 alto NDVI≤0'68 extremo	RH<70 bajo 70≤RH≤82 alto RH≤82 extremo	
4	Promedio NDVI<0'55 bajo 0'55≤NDVI≤0'62 alto NDVI≤0'62 extremo		
5	Promedio NDVI<0'51 bajo 0'51≤NDVI≤0'61 alto NDVI≤0'61 extremo	RH<64 bajo 64≤RH≤76 alto RH≤76 extremo	
6	Woody Savanna NDVI<0'55 bajo 0'55≤NDVI≤0'68 alto NDVI≤0'68 extremo	RH<65 bajo 65≤RH≤78 alto RH≤78 extremo	SM<0'25 bajo 0'25≤SM≤0'3 alto RH≤0'3 extremo
7	Promedio NDVI<0'59 bajo 0'59≤NDVI≤0'65 alto NDVI≤0'65 extremo	RH<75 bajo 75≤RH≤82 alto RH≤82 extremo	
8	Woody Savanna NDVI<0'59 bajo 0'59≤NDVI≤0'7 alto NDVI≤0'7 extremo	RH<74 bajo 74≤RH≤89 alto RH≤89 extremo	SM<0'45 bajo 0'45≤SM≤0'48 alto RH≤0'48 extremo
10	Grasslands NDVI<0'42 bajo 0'42≤NDVI≤0'52 alto NDVI≤0'52 extremo	RH<73 bajo 73≤RH≤81 alto RH≤81 extremo	SM<0'26 bajo 0'26≤SM≤0'29 alto RH≤0'29 extremo
13		RH<77 bajo 77≤RH≤81 alto RH≤81 extremo	SM<0'25 bajo 0'25≤SM≤0'28 alto RH≤0'28 extremo
16	Savanna NDVI<0'43 bajo 0'43≤NDVI≤0'58 alto NDVI≤0'58 extremo	RH<71 bajo 71≤RH≤80 alto RH≤80 extremo	SM<0'25 bajo 0'25≤SM≤0'28 alto RH≤0'28 extremo
17	Promedio NDVI<0'57 bajo 0'57≤NDVI≤0'66 alto NDVI≤0'66 extremo	RH<74 bajo 74≤RH≤84 alto RH≤84 extremo	SM<0'29 bajo 0'29≤SM≤0'34 alto RH≤0'34 extremo

Prov	NDVI	RH	SOIL MOIs
18	Woody Savanna NDVI<0'58 bajo 0'58≤NDVI≤0'72 alto NDVI≤0'72 extremo	RH<75 bajo 75≤RH≤83 alto RH≤83 extremo	SM<0'24 bajo 0'24≤SM≤0'29 alto RH≤0'29 extremo
19	Savanna NDVI<0'6 bajo 0'6≤NDVI≤0'73 alto NDVI≤0'73 extremo	RH<76 bajo 76≤RH≤83 alto RH≤83 extremo	SM<0'22 bajo 0'22≤SM≤0'26 alto RH≤0'26 extremo
20	Woody Savanna NDVI<0'62 bajo 0'62≤NDVI≤0'7 alto NDVI≤0'70 extremo	RH<74 bajo 74≤RH≤83 alto RH≤83 extremo	SM<0'3 bajo 0'3≤SM≤0'35 alto RH≤0'35 extremo
21	Savanna NDVI<0'44 bajo 0'44≤NDVI≤0'65 alto NDVI≤0'65 extremo	RH<69 bajo 69≤RH≤79 alto RH≤79 extremo	SM<0'24 bajo 0'24≤SM≤0'28 alto RH≤0'28 extremo
22	Grasslands NDVI<0'35 bajo 0'35≤NDVI≤0'48 alto NDVI≤0'48 extremo	RH<67 bajo 67≤RH≤75 alto RH≤75 extremo	SM<0'27 bajo 0'27≤SM≤0'30 alto RH≤0'30 extremo
23	Promedio NDVI<0'5 bajo 0'5≤NDVI≤0'6 alto NDVI≤0'6 extremo		
24	Crops NDVI<0'57 bajo 0'57≤NDVI≤0'63 alto NDVI≤0'63 extremo		
25	Promedio NDVI<0'55 bajo 0'55≤NDVI≤0'63 alto NDVI≤0'63 extremo	RH<74 bajo 74≤RH≤80 alto RH≤80 extremo	
26	Grasslands NDVI<0'38 bajo 0'38≤NDVI≤0'45 alto NDVI≤0'45 extremo		

#### 6.4 Validación de los resultados

Como ya se ha comentado en varios apartados de esta tesis, localizar datos de casos de malaria ha sido más que difícil, pero finalmente pudimos conseguir los informes de dos epidemias y de un reciente trabajo en dos provincias. Estos datos provienen de la cruz roja y de médicos sin fronteras, por lo que asumimos que tienen una cierta fiabilidad como para realizar el test de nuestro sistema con ellas.

### 6.4.1 Epidemias registradas

Kagera, una región situada en el noroeste de Tanzania está dividida en ocho distritos administrativos, Bukoba Urban, Bukoba Rural, Muleba, Karagwe, Ngara, Biharamulo, Chato Missenyi. La región tiene un total de dos millones de habitantes con un crecimiento del 2,9%. Tiene 13 hospitales, 13 centros de atención primaria y 202 dispensarios entre públicos y privados que proveen atención sanitaria.

En enero de 2005 el número de admisiones en pediatría fue muy superior a los registrados en los años anteriores. Ya durante el mes de enero se detectó un aumento mayor de los casos esperados declarándose el estado de epidemia hacia finales de marzo de ese mismo año. La epidemia tardó en declararse debido a que el Ministerio de Salud tanzano así como la organización Médicos sin Fronteras, no tenían claro si esta situación requería o no una intervención de urgencia; sin embargo, durante el mes de abril de ese mismo año, los casos de malaria seguían en aumento (Bernal, O., 2006).

**Tanzania: Malaria Outbreak in Kagera; DREF Bulletin no. MDRTZ003**

**Background and current situation**  
Kagera region is situated in the north-western part of Tanzania and is divided into eight administrative districts; Bukoba Urban, Bukoba Rural, Muleba, Karagwe, Ngara, Biharamulo, Chato, and Missenyi. The region has a total population of 2,146,919 with a growth rate of 2.9 per cent. There are 13 hospitals, 13 health centres and 202 dispensaries providing health care (government and private).

According to a report received from the Tanzania Red Cross National Society (TRCNS) on 10 July 2006, there has been a rise in the number of malaria cases resulting in increased mortality, especially among children aged under five years. The two most affected districts are Karagwe and Muleba in Kagera region, which have reported about 300 deaths of children aged under five since January 2006, excluding unreported cases that might have occurred at home. The number of deaths per month among children increased from 2,295 in February to 3,542 in May in Muleba District and from 3,014 to 3,944 in Karagwe District. It was not until June that the emergency situation became apparent, when the number of admitted patients with severe anemia increased from 89 to 170 raising the demand for blood transfusion in the Rubya and Nyakahanga hospitals in Karagwe and Muleba respectively.

The two hospitals have a combined bed capacity of 162 and have admitted over 420 patients, out of whom 227 were children aged under-five years. This has caused over-congestion as well as difficulty in providing quality care to all the admitted patients.

Fuente: MDRTZ003, 21 July 2006

**Figura 99:** Extracto del boletín de la Cruz Roja tanzana

De acuerdo con el informe de la Cruz Roja tanzana, en julio de 2006 se comprobó un incremento en el número de casos de malaria dando como resultado un incremento de la mortalidad especialmente entre niños menores de cinco años.

Los dos distritos más afectados fueron Karagwe y Muleba con 300 niños menores de cinco años fallecidos hasta enero de 2006, sin tener en cuenta el número de fallecidos no reportados. Este número aumentó de 2,295 en febrero a 3,542 en mayo en Muleba y de 3,014 a 3,944 en Karagwe. No fue hasta junio cuando se declaró el estado de emergencia debido al número de pacientes que requerían de atención sanitaria. Dos hospitales con capacidad para 162 pacientes, admitieron más del doble desbordando así

las urgencias y congestionando los hospitales, dificultando así la atención a los enfermos.

Estas dos referencias convierten a la provincia de Kagera, en una provincia test para probar que el sistema funciona.

### 6.4.2 Validación del método en la provincia de Kagera

A continuación se muestran los resultados de los cluster obtenidos para esta provincia.

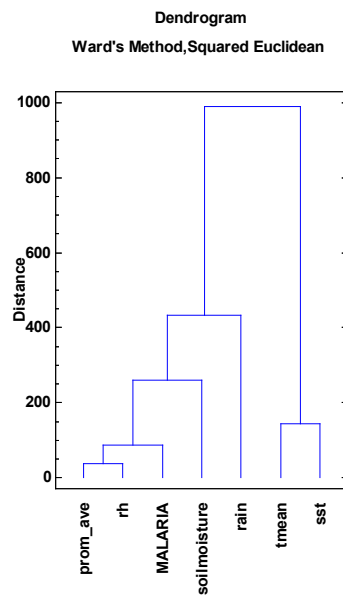
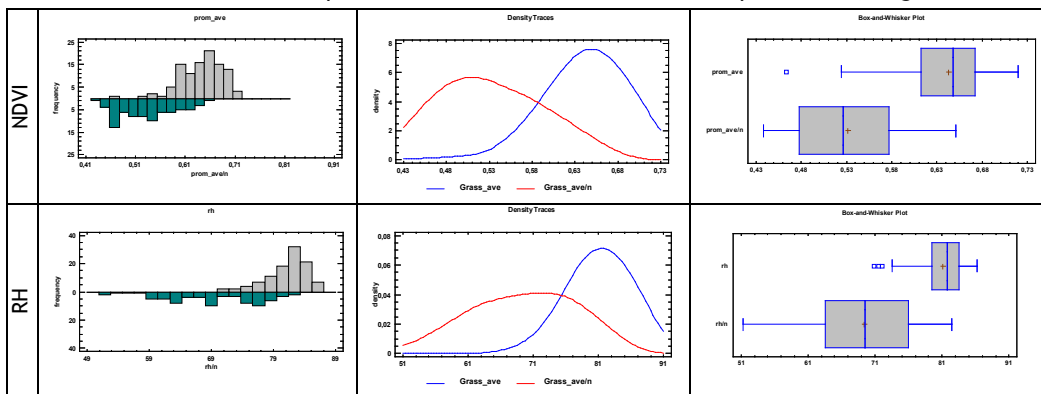


Figura 100: Clúster de correlación con la malaria en la provincia 7, Kagera.

Tabla 62: Variables que correlacionan con la malaria en la provincia 7, Kagera.

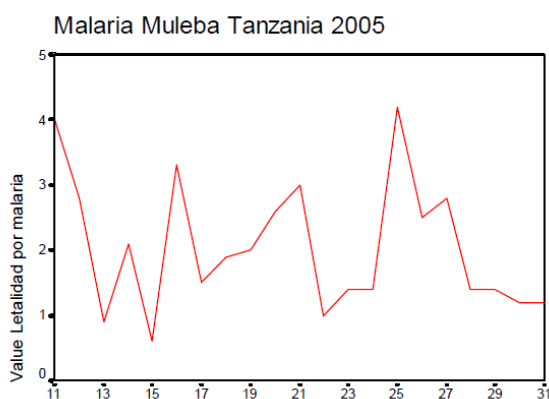


Analizamos los resultados y umbralizamos según el método de clasificación definida en el apartado de metodología de este capítulo. Los umbrales establecidos tanto para el NDVI como para la humedad relativa serian:

**Tabla 63:** Umbrales de riesgo de la provincia de KAGERA

Umbrales del riesgo: Provincia 7	
$ndvi < 0'59$	Riesgo bajo
$0'59 \leq ndvi < 0'65$	Riesgo alto
$ndvi \geq 0'65$	Riesgo extremo
$rh < 75$	Riesgo bajo
$75 \leq rh < 82$	Riesgo alto
$rh \geq 82$	Riesgo extremo

Si tenemos en cuenta los valores registrados por las bases de datos de Médicos sin Fronteras descritos por (Bernal, O., 2006) y a tenor del gráfico siguiente:



Fuente: Oscar Alberto Bernal Acevedo. Umbrales Epidémicos en malaria. Barcelona, Septiembre 2006

**Figura 101:** Letalidad por malaria, Muleba, Tanzania 2005.

Obtenemos los siguientes resultados:

**Tabla 64:** Indices de riesgo en función de los umbrales en la provincia de Kagera.

	Fecha	ndvi-average	rh	R-ndvi	R-rh
2005	1-enero	0,66	78	Extremo	Alto
	9-enero	0,65	79	Extremo	Alto
	17-enero	0,65	72	Extremo	Bajo
	25-enero	0,65	82	Extremo	Extremo
	2-febrero	0,64	80	Alto	Alto
	10-febrero	0,62	67	Alto	SR
	18-febrero	0,59	61	Alto	SR
	26-febrero	0,60	83	Alto	Extremo



	Fecha	ndvi-average	rh	R-ndvi	R-rh
	6-marzo	0,61	72	Alto	Bajo
	14-marzo	0,64	82	Alto	Extremo
	22-marzo	0,68	83	Extremo	Extremo
	30-marzo	0,68	81	Extremo	Alto
	7-abril	0,68	85	Extremo	Extremo
	15-abril	0,67	76	Extremo	Alto
	23-abril	0,66	74	Extremo	Bajo
	1-mayo	0,68	82	Extremo	Extremo
	9-mayo	0,69	78	Extremo	Alto
	17-mayo	0,68	75	Extremo	Bajo
	25-mayo	0,67	83	Extremo	Extremo
	2-junio	0,66	76	Extremo	Alto
	10-junio	0,66	70	Extremo	Alto
	18-junio	0,61	69	Alto	SR
	26-junio	0,55	63	Bajo	SR
	4-julio	0,54	58	Bajo	SR
	12-julio	0,53	54	Bajo	SR
	20-julio	0,50	56	Bajo	SR
	28-julio	0,46	57	Bajo	SR
	5-agosto	0,46	55	Bajo	SR
	13-agosto	0,46	65	Bajo	SR
	21-agosto	0,47	52	Bajo	SR
	29-agosto	0,48	53	Bajo	SR

A tenor de los datos, se observan valores muy altos de riesgo desde el mes de enero, lo que hacía prever que se trataba de una situación anómala. En el momento que se declara la epidemia, alrededor del mes de mayo, la provincia se encontraba con valores de riesgo EXTREMO.

Si lo comparamos con las fechas del boletín de la Cruz Roja (MDRTZ003, 21 July 2006), los valores quedan como sigue:

**Tabla 65:** Niveles de riesgo en función de los umbrales en la provincia de Kagera.

	Fecha	ndvi-average	rh	R-ndvi	R-rh
2005	1-noviembre	0'58	77	Bajo	Alto
	9-noviembre	0'60	79	Alto	Alto
	17-noviembre	0'61	72	Alto	Bajo
	25-noviembre	0'62	77	Alto	Alto
	3-diciembre	0'63	79	Alto	Alto
	11-diciembre	0'60	70	Alto	SR
	19-diciembre	0'57	72	Bajo	Bajo

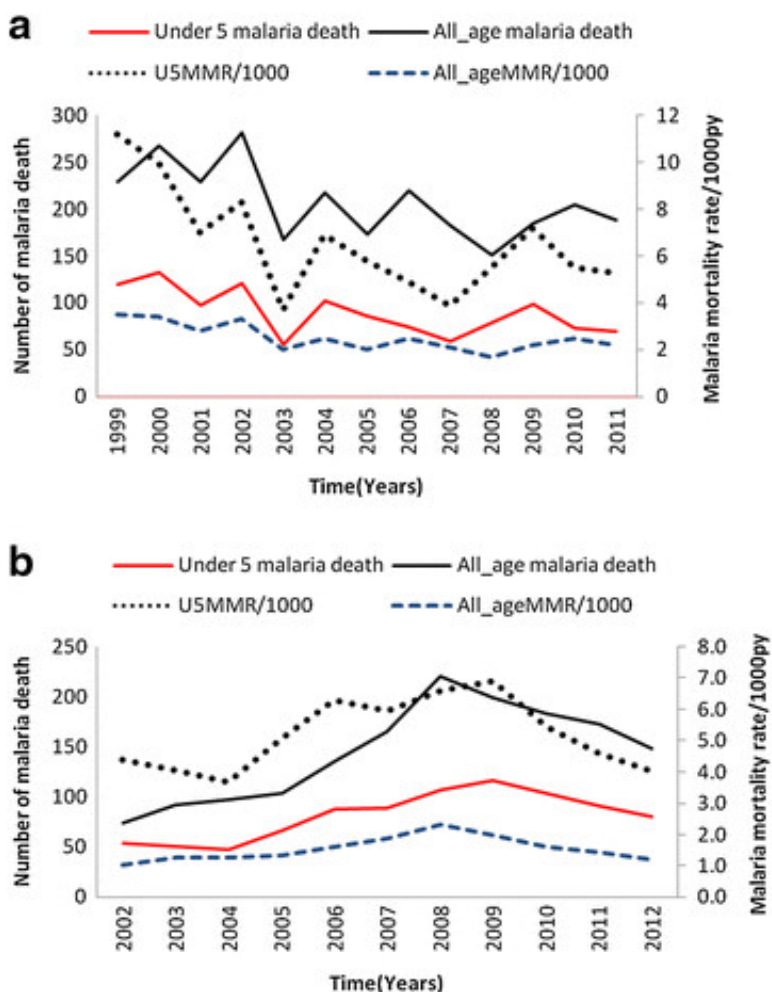
	Fecha	ndvi-average	rh	R-ndvi	R-rh
2006	1-enero	0'53	70	Bajo	Bajo
	9-enero	0'56	79	Bajo	Alto
	17-enero	0'59	76	Alto	Alto
	25-enero	0'56	73	Bajo	Bajo
	2-febrero	0'54	70	Bajo	Bajo
	10-febrero	0'56	74	Bajo	Bajo
	18-febrero	0'59	79	Alto	Alto
	26-febrero	0'60	78	Alto	Alto
	6-marzo	0'62	78	Alto	Alto
	14-marzo	0'63	82	Alto	Extremo
	22-marzo	0'65	81	Extremo	Alto
	30-marzo	0'66	80	Extremo	Alto
	7-abril	0'66	82	Extremo	Extremo
	15-abril	0'67	82	Extremo	Extremo
	23-abril	0'69	81	Extremo	Alto
	1-mayo	0'70	83	Extremo	Extremo
	9-mayo	0'70	85	Extremo	Extremo
	17-mayo	0'69	79	Extremo	Alto
25-mayo	0'67	74	Extremo	Alto	

Durante los meses en los que se declara la epidemia los valores que devuelve el sistema establecido oscilan entre ALTO y EXTREMO.

El sistema funciona, no tanto como un sistema de detección de brotes puntuales, sino como un análisis continuo en el tiempo capaz de alertar a la población para que tomen las medidas necesarias para paliar las consecuencias derivadas de una epidemia.

#### 6.4.3 Validación del método en las provincias de Pwani y Morogoro

Dos referencias más en Tanzania permiten hacer una validación más. (Selemani et al, 2015) utilizan los registros en dos pequeños pueblos Rufiji en la provincia de Morogoro e Ifakara en la provincia de Pwani. Entre los años 1999 y 2011, el 24% de las muertes de Rufiji son debidas a la malaria mientras que en Ifakara se registra el 17,1%. Ambas zonas son rurales con población dedicada a la ganadería y a la pesca principalmente.



Fuente: Selemani et al. Malaria Journal 2015 14:369 doi: 10.1186/s12936-015-0905y

**Figura 102:** Muertes por malaria y estimación del ratio de mortalidad en las áreas de estudio. (a) Rufiji y (b) Ifakara.

Atendiendo a los gráficos anteriores, sobre todo en la zona rural de Ifakara, se puede apreciar que los años 2009 y 2010 tienen registros muy altos en cuanto a muertes por malaria se refiere.

Vamos a analizar los resultados ofrecidos por nuestro sistema en las provincias y años en los que se reportaron estos valores.

**Tabla 66:** Validación de los resultados en la provincia de Morogoro.

Año	Dia Juliano	EXTREMO	ALTO	BAJO	EXTREMO	ALTO	BAJO	GLOBAL
		Humedad Relativa			Humedad del suelo			
2009	1	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	9	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	17	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	25	SI	-	-	-	SI	-	EXTREMO

Desarrollo de un índice de riesgo de malaria en Tanzania

Año	Dia Juliano	EXTREMO	ALTO	BAJO	EXTREMO	ALTO	BAJO	GLOBAL
		Humedad Relativa			Humedad del suelo			
2009	33	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	41	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	49	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	57	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	65	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	73	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	81	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	89	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	97	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	105	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	113	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	121	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	129	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	137	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	145	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	153	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	161	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2009	169	-	-	SI	SI	-	-	EXTREMO
2009	177	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	185	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	193	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	201	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	209	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	217	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	225	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	233	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	241	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	249	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	257	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	265	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	273	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	281	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	289	-	-	SI	-	-	SI	BAJO
2009	297	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	305	-	-	SI	-	SI	-	ALTO
2009	313	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	321	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	329	-	SI	-	-	SI	-	ALTO
2009	337	-	SI	-				EXTREMO
2009	345	SI	-	-				EXTREMO
2009	353	SI	-	-				

Los resultados muestran valores globales en riesgo EXTREMO durante los primeros meses del año, de forma continua.

Tabla 67: Validación de los resultados en la provincia de Pwani.

Año	Dia Juliano	EXTREMO	ALTO	BAJO	EXTREMO	ALTO	BAJO	GLOBAL
		Humedad Relativa			Humedad del suelo			
2010	1	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	9	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	17	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	25	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	33	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	41	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	49	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	57	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	65	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	73	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	81	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	89	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	97	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	105	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	113	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	121	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	129	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	137	SI	-	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	145	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	153	-	SI	-	-	SI	-	EXTREMO
2010	161	-	SI	-	SI	-	-	EXTREMO
2010	169	-	SI	-	-	SI	-	-
2010	177	-	-	SI	-	SI	-	-
2010	185	-	-	SI	-	SI	-	-
2010	193	-	-	SI	-	SI	-	-
2010	201	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	209	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	217	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	225	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	233	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	241	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	249	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	257	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	265	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	273	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	281	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	289	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	297	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	305	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	313	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	321	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	329	-	-	SI	-	-	SI	-
2010	337	-	-	SI	-	SI	-	-
2010	345	-	-	SI	-	SI	-	-
2010	353	-	-	SI	-	SI	-	-

Al igual que en el caso anterior, los resultados muestran valores globales en riesgo EXTREMO durante los primeros meses del año, de forma continua.

## Capítulo 7.- CONCLUSIONES

### 7.1 Conclusiones

- 1.- Teniendo en cuenta el peso de las variables meteorológicas en el comportamiento de los vectores transmisores de malaria, se hace necesario tener un sistema que refleje cualquier variación meteorológica de la forma más fiable y afinada posible. Por este motivo, se ha hecho uso del modelo meteorológico WRF, el cual, tras ser configurado con las condiciones necesarias, ha devuelto variables meteorológicas cada hora. Estos cálculos se han realizado cada día entre los años 2005 a 2014.
- 2.- En cuanto a la variable que se ha usado como indicador, la precipitación, se ha probado que los valores obtenidos del modelo meteorológico WRF correlacionan muy satisfactoriamente con las estimaciones efectuadas por la NOAA con los satélites meteorológicos, así como con las medias de la red local de pluviómetros del país. Esta correlación así como la evolución de las demás variables corresponde con los valores esperados, lo que demuestra la validez de los ajustes del modelo.
- 3.- El sensor Terra-MODIS ha sido el encargado de aportar los datos de NDVI promedio de las cinco cubiertas más representativas de Tanzania. Todos estos valores, han sido calculados para cada provincia por separado.
- 4.- El análisis de imágenes Landsat, ha determinado la superficie de las masas de agua de Tanzania, así como su perímetro.
- 5.- Utilizando los datos de incidencia de la malaria ofrecidos por la Organización Mundial de la Salud a través de los informes anuales de los años 2010, 11, 12 y 13 se ha elaborado una escala del impacto de la misma a nivel provincial.
- 5.- Mediante un análisis cluster de las variables meteorológicas obtenidas, de sus valores máximos y mínimos, sus desviaciones standard, los índices de vegetación NDVI de cada una de las superficies consideradas, y sus valores máximos mínimos y

desviaciones y del indicador de la malaria, se han localizado las variables con una evolución más similar a la malaria, resultando ser, en la mayoría de los casos, la humedad relativa, la humedad del suelo y el NDVI. El método utilizado ha sido el de Ward's utilizando la distancia euclidiana al cuadrado.

6.- Una vez seleccionadas las variables más ligadas a la evolución de la malaria, se han comparado sus valores para las épocas tradicionales de malaria, de noviembre a mayo, y de su ausencia, de junio a octubre. Los resultados han sido muy satisfactorios y han mostrado una buena distancia entre los valores de cada variable para cada uno de estos períodos.

7.- Las gráficas de densidad de cada variable han servido para fijar los umbrales para cada provincia en cuanto a los niveles de riesgo de la malaria.

8.- La aplicación del procedimiento desarrollado a la gran incidencia de malaria ocurrida en la primera mitad del año 2006 en Kagera ha demostrado la alta fiabilidad del índice, así como en las semanas 11-35 del año 2005. Asimismo, la aplicación del método a los distritos de Rufiji e Ifakara y a algunas provincias tradicionalmente afectadas por la malaria han dado resultados muy prometedores.

9.- Como resultado de todo ello, se ha puesto en funcionamiento una web, [www.malariawarning.eu](http://www.malariawarning.eu), que mediante los procedimientos desarrollados permite conocer el nivel de riesgo para los próximos días en cada una de las provincias de Tanzania. La existencia de esta web se difundirá con ayuda de la Embajada Española y diversas organizaciones locales con las que se ha contactado. Dicha web incorpora una vía de información para poder recibir informaciones directas de los usuarios y de esta manera mejorar la fiabilidad del índice.

10.- Como trabajo futuro se pretende extender el índice de riesgo a las provincias de menos de 1000 km<sup>2</sup>, incorporar nuevos indicadores y disminuir la resolución hasta el nivel de distrito.

## 7.2. Aportaciones de la Tesis Doctoral

La aportación que ofrece esta Tesis, es una página web de manejo sencillo, capaz de mostrar en tiempo real la posibilidad o no de que pueda arrancar un brote epidémico en Tanzania.

Las dos figuras siguientes muestran el proceso completo para la obtención del índice de riesgo a través de la web [www.malariawarning.eu](http://www.malariawarning.eu). En la primera figura se esquematiza el proceso de captura automática de datos e imágenes. Diariamente el sistema busca en las webs de NASA los productos MODIS "MOD02" y "MOD03" correspondientes a Tanzania. Estos productos son tratados con el paquete IPOPP, International Polar



Orbiter Processing Package desarrollado por NASA, y de ellos se extraen los valores de temperatura de superficie, LST, y del NDVI, con una resolución de 1 km. Por otro lado se obtienen los valores globales de entrada para el modelo meteorológico WRF de la web de datos del NCAR, National Center for Atmospheric Research. Estos datos corresponden a la salida del modelo global GFS (Global Forecast System) que aparecen sobre una malla de unos 300 km de lado aproximadamente en la zona de Tanzania. El WRF a su vez genera los datos meteorológicos locales con una resolución de unos 10 km.

Por último se obtienen los datos de lluvia de una web de EODIS, Earth Observing System Data and Information System, que funciona desde abril de 2015 y que ofrece datos globales de lluvia con una resolución en Tanzania de unos 10 km, obtenidos a través del análisis conjunto de todos los satélites capaces de estimar la lluvia, es decir, que considera tanto los datos obtenidos a través de microondas como de sensores ópticos, bien de satélites polares o geoestacionarios.

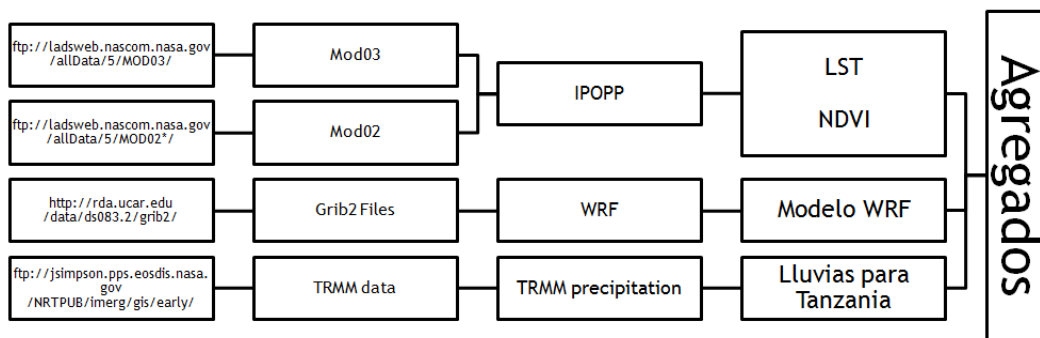


Figura 103: Esquema del proceso de captura automática de datos e imágenes

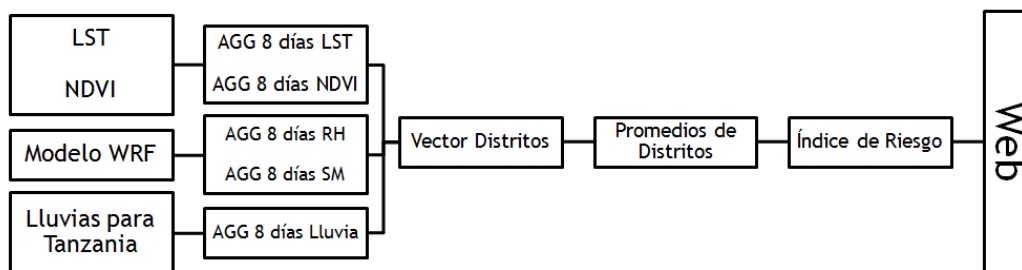


Figura 104: Esquema de los cálculos automáticos para la obtención de los índices de riesgo

Todos estos datos son agregados sobre una media deslizante de ocho días a nivel de provincia y de distrito (vector de divisiones políticas de 2014) y de ahí se generan los valores provinciales. En el caso de la lluvia el agregado es la suma de las precipitaciones para cada distrito, en el caso del NDVI y LST se toma el valor máximo durante los 8 días para cada pixel y posteriormente se promedian los valores para cada distrito o provincia. En el caso de las variables humedad relativa y humedad del suelo

se promedian los valores de cada pixel para los 8 días y posteriormente se calculan los valores medios para cada distrito o provincia. Con los valores agregados representativos se aplican diferentes umbrales para calcular el índice de riesgo por distrito y por provincia:

- Si no existen precipitaciones el riesgo permanece en su nivel más bajo.
- Si los valores de temperatura de superficie no están entre unos valores determinados el riesgo permanece en su nivel más bajo.

Si las dos condiciones anteriores se cumplen y al menos una de las siguientes también se cumplen entonces hay riesgo:

- NDVI entre dos valores definidos para cada distrito riesgo alto, mayor que el segundo umbral riesgo extremo.
- Humedad relativa entre dos valores definidos para cada distrito riesgo alto, mayor que el segundo umbral riesgo extremo.
- Humedad del suelo entre dos valores definidos para cada distrito riesgo alto, mayor que el segundo umbral riesgo extremo.

Todo el procesado, gestión de los ficheros y envío de los resultados se realiza mediante los lenguajes Prel e IDL.

### **7.3 Futuras mejoras y líneas de investigación**

Tenemos previsto que la web siga evolucionando. Por este motivo, hemos pensado en las posibles mejoras que harían de esta web algo mucho más efectivo. Estas se describen en los siguientes puntos.

#### **7.3.1 Modelo Digital de Elevaciones**

Se ha generado una imagen raster clasificada en tramos de 100 en 100 metros de altitud a la cual se le ha aplicado una paleta de color que se degrada desde los rojos más intensos para los valores más cercanos al nivel del mar hasta los verdes, para las zonas que en principio estarían libres de la influencia de la malaria.

Esta diferencia de altitud puede ser determinante a la hora de establecer umbrales de riesgo dentro de los distritos, lo que mejoraría su estimación.

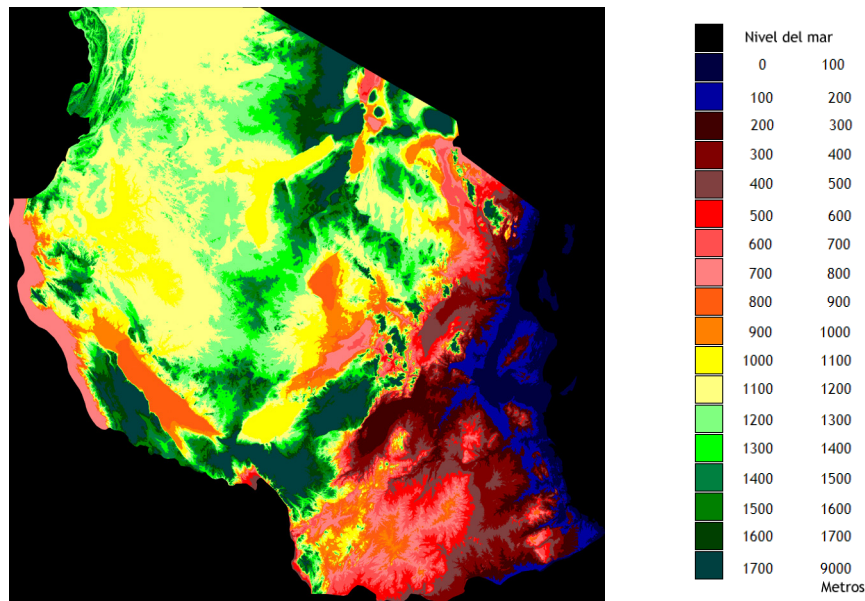


Figura 105: Modelo digital de elevaciones, clasificado cada 100 metros de altitud

### 7.3.2 Distancia con respecto de las masas de agua

Ya que los vectores transmisores de la malaria se reproducen en las zonas de agua, todas las poblaciones que estén cercanas a cualquier tipo de masa de agua, van a estar expuestas a la enfermedad. Pero, no solo las zonas cercanas, ya que en el caso de no haber recipientes adecuados para el desarrollo de las larvas, una hembra puede volar hasta tres kilómetros (Nelson, 1986; Kettle, 1993).

Tras aumentar el vuelo de los mosquitos se ha generado una tabla que resume los desplazamientos medios para los diferentes vectores trasmisores.

Tabla 68: Resumen valores medios de vuelos de los vectores transmisores

Tipo de Vector	km	referencia
<i>Aedes aegypti</i>	3	(Nelson, 1986; Kettle, 1993)
<i>Anopheles</i>	0'81	(Howard, D. et al, 1912)
<i>Anopheles</i>	0'37-1'87	(Le Prince, J.A. et al. 1916)
<i>A. Quadrimaculatus</i>	1'61	(Le Prince, J.A. et al. 1917)
<i>A. Quadrimaculatus</i>	1'61	(Geiger, J.C., et al. 1919)
<i>A. ludlowi</i>	1'6	(Swellengrebel, N.H., et al. 1919)
<i>A. claviger</i>	2'5	(Sella, M., 1920)
<i>A. Staineda</i>	6'2	(Van Breemen, C. 1920)
<i>A. Aconita</i>	0'35	(Winoto, M. 1923)
<i>Anopheles</i>	2-2'5	(Kligler, I.J., 1924)

Tipo de Vector	km	referencia
<i>Anopheles</i>	1'6	(Barber, A. et al. 1924)
<i>A. maculipennis</i>	2'9	(Swellengrebel, N.H., et al. 1919)
<i>A. quadrimaculatus</i>	0'6	(Kumm, H. W., 1929)
<i>M. sergentia</i> nd <i>A. elutus</i>	2	(Kligler, I.J., 1924)
<i>A. sinensis</i>	0'8	(Lalemant, F. M., et al. 1931)
<i>A. aconitus</i>	0'9	
<i>A. coquia</i> y <i>A. tessellatus</i> , y <i>A. Rossia</i>	1'5	
<i>Culex annulirostris</i>	2	(Warchot, A. and Whelan, P. 2008)
<i>An. gambiae</i>	9-10	(Kaufmann, C. et al. 2004)

En función de estos valores medios y de las zonas en las que fueron detectadas masas de agua, se ha realizado una clasificación de zonas de peligrosidad alrededor de las mismas. Para ello, se han calculado directamente las distancias Euclídeas y se han definido cuatro zonas en función de esta distancia, así como una zona neutra en la que se considera que no existe riesgo de transmisión.

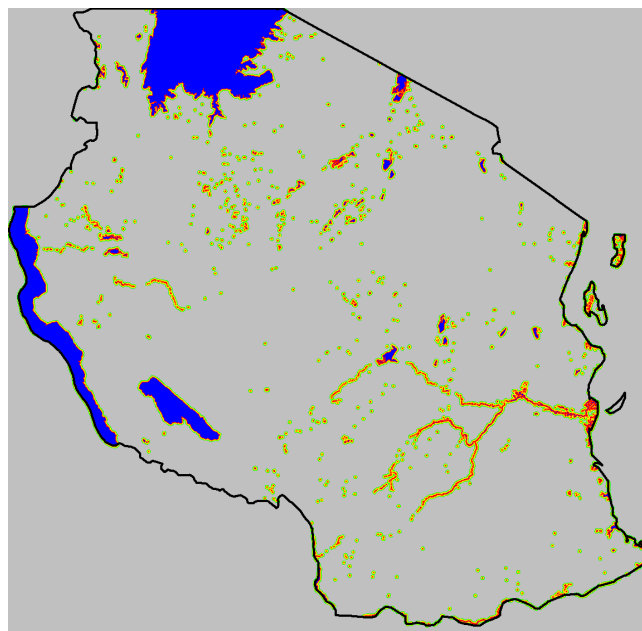


Figura: 106 Clasificación en función de la distancia

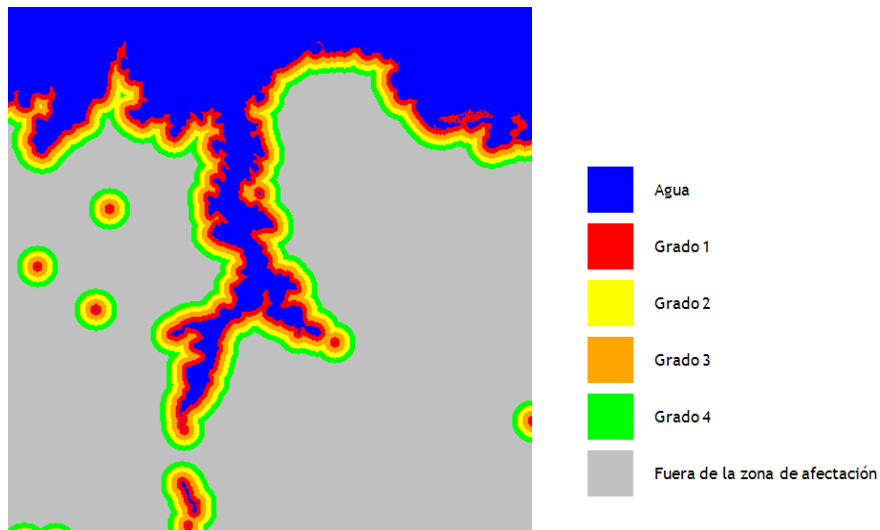


Figura: 107 Detalle de la clasificación en función de la distancia

Este dato podrá incorporarse al riesgo calculado por distritos, mientras que para la provincia resulta un tanto inapropiado.

### 7.3.3 Estaciones meteorológicas

Se han recopilado también los datos proporcionados por la agencia meteorológica tanzana, los cuales recopilan los valores de precipitación recogidos en pluviómetros y registran los máximos en las regiones en las que tienen estas estaciones de recogida de datos. La localización de los pluviómetros se muestra a continuación.

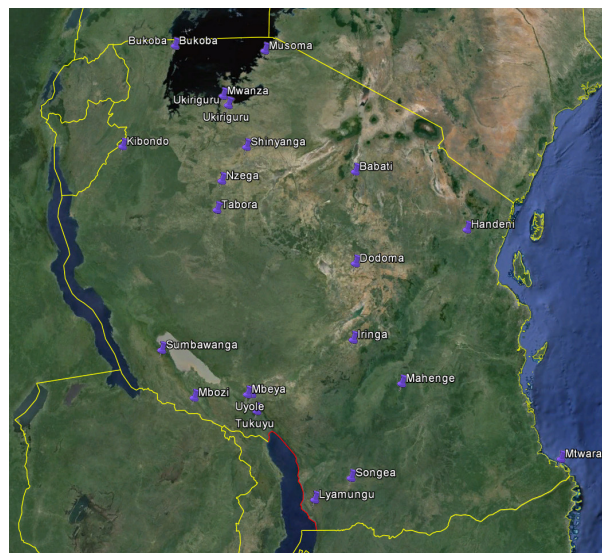


Figura 108: Localización de pluviómetros.

La siguiente tabla resume los valores registrados en los boletines meteorológicos durante el año 2010.

**Tabla 69:** Medidas pluviométricas en Tanzania durante el año 2010

Localización	Provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Oct	Nov	Dic
Arusha	Arusha									98	
Dodoma	Dodoma										155
Hombolo	Dodoma	114								63	136
Iringa	Iringa										115
Bukoba	Kagera	131	385		425	242	111		70	118	176
Mlingano	Kagera									92	
Ngara	Kagera									97	
kibondo	Kigoma			318					79	87	108
kigoma	Kigoma								60	95	158
Igeri	Kilimanjaro	322		352							159
Moshi	Kilimanjaro				479					56	
Kilwa	Lindi	169	205							78	
Musoma	Mara			321					76	73	
Mbeya	Mbeya	150									
Mbozi	Mbeya										229
Tukuyu	Mbeya					226					205
Uyole	Mbeya										126
Mahenge	Morogoro		264								297
Morogoro	Morogoro										182
Mtwara	Mtwara	169	310								
Newala	Mtwara										166
Mwanza	Mwanza	123	217						157		
Ukiriguru	Mwanza			304					80		133
Pemba	Pemba				442	552	142	32	65		
kibaha	Pwani									59	
tumbi	Pwani	150									
Sumbawanga	Rukwa										265
Lyamungu	Ruvuma				529	352	87	15		82	
Songea	Ruvuma	287	231								158
tunduru	Ruvuma										107
shinyanga	shinyanga									53	
Tabora	Tabora	147								68	
Amani	Tanga		308		409	332					
Handeni	Tanga	144									123
Tanga	Tanga	127								79	
Zanzibar	Zanzibar					242			87	169	102

Poniendo atención en la provincia de Mbeya, por ser la provincia de la que se han estado mostrando las curvas en anteriores apartados, se registran máximos de precipitación en tres fechas, enero, mayo y diciembre.

Si se integran los resultados obtenidos de los boletines meteorológicos junto con los obtenidos a partir de los datos de satélite, se aprecian que en los meses de Febrero y Diciembre, existen picos máximos, sin embargo los datos recogidos en Mayo no concuerdan del todo. Quizás debido a que las precipitaciones sean puntuales, como una tormenta o similar.

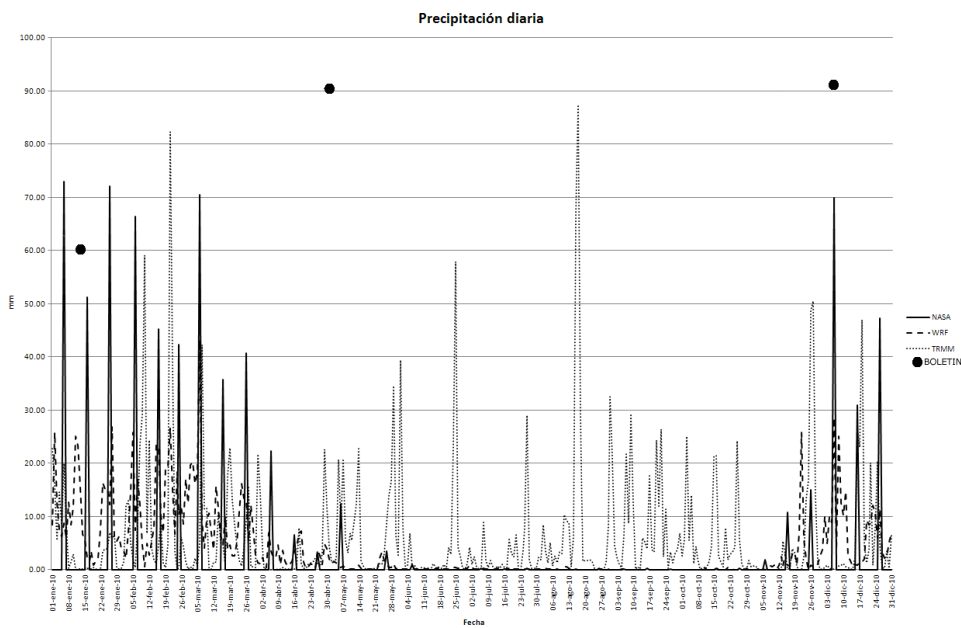


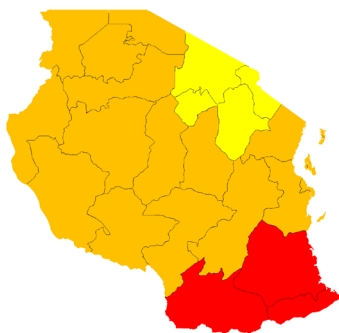
Figura 109: comparativa de precipitación diaria.

Ya que estos datos se pueden obtener de forma periódica, podrán ser utilizados para modelar los resultados finales sobre todo para los distritos en el entorno de los pluviómetros.

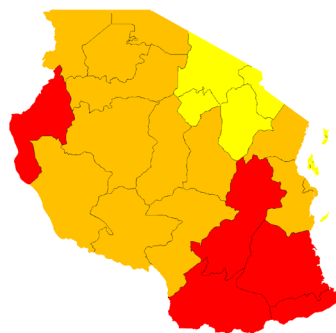
### 7.3.4 Modelos globales

En el apartado 4.1.8.2 se describe un modelo diseñado por el consorcio Europeo Healthy Futures. Se van a utilizar los resultados obtenidos por este grupo de investigación intentando agrupar las provincias de Tanzania en lo que podríamos asemejar a un mapa de riesgo, es decir, se clasifican las provincias asignando valores bajo, medio o alto según los resultados del estudio.

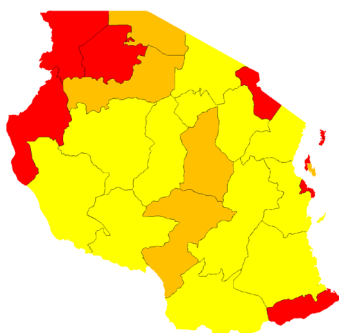
Esto se comparará con nuestros resultados y así esperamos poder afinar los resultados de nuestro índice de riesgo.



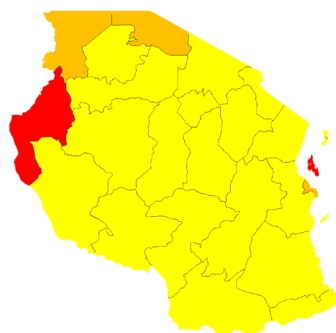
Ratios de mortalidad infantil



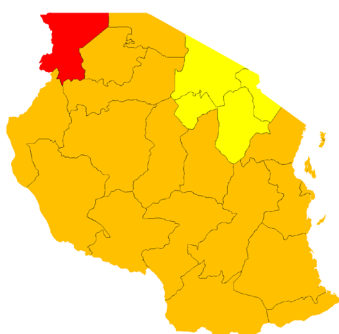
Vulnerabilidad a la malaria



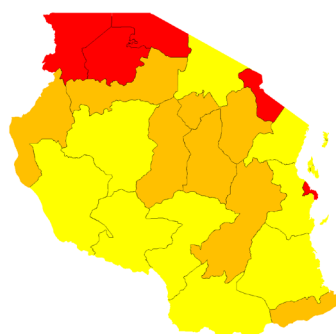
Niños menores de 5 años con peso bajo



Densidad de conflictos



Vulnerabilidad económica a la malaria



Población por debajo de los dos dólares al día



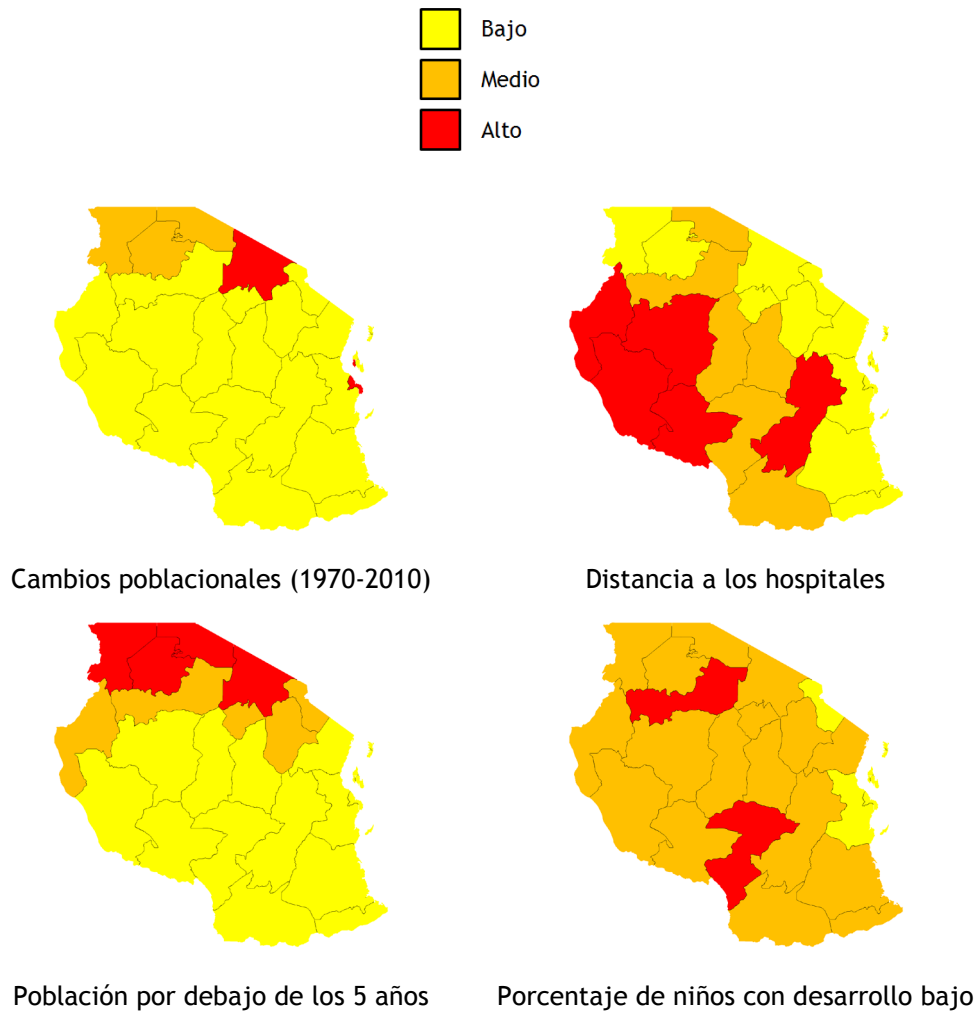


Figura 110: Healthy Futures Project inputs



## Capítulo 8.- DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### 8.1 Definiciones

**Agente Etiológico:** Entidad biológica, física o química capaz de causar enfermedad.

**Capacidad vectorial:** Número de infecciones nuevas que la población de un vector determinado distribuiría por caso por día en un lugar y tiempo determinados si no hubiera inmunidad.

**Endémico:** Enfermedad propia de una zona y de una época.

**epsg:** fue una organización científica vinculada a la industria del petróleo europea. Estaba formada por especialistas que trabajaban en el campo de la geodesia, la topografía y la cartografía aplicadas en relación con la exploración petrolífera. EPSG compiló y difundió el conjunto de parámetros geodésicos EPSG, una base de datos ampliamente usada que contiene elipsoides, datums, sistemas de coordenadas, proyecciones cartográficas, etc.

**Esporozoito:** Parásitos de la malaria móviles, infectivos en seres humanos, que son inoculados por un mosquito anofelino hembra al alimentarse. Los esporozoítos invaden los hepatocitos.

**Filarias:** La filariasis constituye un grupo de enfermedades parasitarias, por lo general tropicales, causada por la infección de «filarias», nematodos, que son transmitidos en forma de larva a los vertebrados por un artrópodo, generalmente mosquitos.

**Índice de vulnerabilidad:** Índice que caracteriza las condiciones predominantes de vulnerabilidad del país en términos de exposición en áreas propensas, su fragilidad socioeconómica y su falta de resistencia, los cuales son aspectos que favorecen el

impacto físico directo y el impacto indirecto e intangible en caso de presentarse un fenómeno peligroso.

**Inmunidad:** Término médico que describe el estado de tener suficientes defensas biológicas para evitar la infección, enfermedad u otra invasión biológica no deseada.

**Inoculación entomológica:** Número de inoculaciones de parásitos de la malaria recibidas por una persona en un año.

**Insumo:** Bien de cualquier clase empleado en la producción de otros bienes.

**Intensidad de transmisión:** Intensidad de transmisión de la malaria determinada por la frecuencia con la cual quienes viven en una zona son picados por mosquitos anofelinos que llevan esporozoítos.

**Metadato:** Literalmente «sobre datos», son datos que describen otros datos. En general, un grupo de metadatos se refiere a un grupo de datos, llamado recurso.

**Periodo gonotrófico:** Período que existe desde que el mosquito chupa la sangre-ovopostura- hasta que vuelve a alimentarse.

**PfPR (Plasmodium falciparum Parasite Rate):** Índice de uso general para determinar la intensidad de transmisión de la malaria y se determina por la proporción de población con parásitos en sangre.

**Plasmodium:** Género de protozoarios que parasitan la sangre de vertebrados y del que forman parte los agentes causales de la malaria. *Plasmodium Falciparum*, *P. Malariae*, *P. Ovale* y *P. Vivax* causan malaria en los seres humanos. También se han notificado en regiones boscosas de Asia Sudoriental infecciones humanas por el parásito de la malaria de monos, *P. Knowlesi*.

**Protista:** Adjetivo que se emplea en el ámbito de la biología para denominar a los seres vivientes que cuentan con células pertenecientes al grupo eucariota (células que tienen núcleo definido)

**Retículas de Arakawa:** Las retículas Arakawa se describieron por primera vez en Arakawa, A.; Lamb, V.R. (1977). "Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model". *Methods of Computational Physics* 17. Nueva York: Academic Press. págs. 173-265. Existen varias retículas diferentes con escalones únicos denominados A, B, C, D y E.

**Runge-Kutta:** Son un conjunto de métodos genéricos iterativos, explícitos e implícitos, de resolución numérica de ecuaciones diferenciales.

**Signatura espectral:** Forma característica del espectro de emisión/reflexión de una determinada superficie.

**Tasa de prevalencia:** Número de personas que padecen de una enfermedad determinada en un punto determinado de tiempo por cada 1.000 habitantes.

**Taxonomía:** Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica. Se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.

**Vector:** Todo objeto animado, capaz de transmitir un agente infeccioso desde su reservorio a otro ser vivo, en forma activa, imprimiendo un determinado sentido a la transmisión de acuerdo a sus características (vector = flecha).

## 8.2 Abreviaturas

AC	Antes de Cristo
AFWA	Department of Defense's Air Force Weather Agency
AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit
ARW	Advanced Research WRF
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATBD	Algorithm Theoretical Basis Documents
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BEIS	Biogenic Emissions Inventory System
BRDF	bidirectional reflectance distribution function
CAPS	Center for Analysis and Prediction of Storms
CERES	Nubes y Tierras del Sistema de Energía Radiante
CIA	Central Intelligence Agency
CPC	The Climate Prediction Center's
DEM	Digital elevation Model
DMSP	Satélites Meteorológicos de Defensa
DTC	Developmental Testbed Center
EIR	ratio de inoculación entomológica
ESRL	Earth System Research Laboratory
ETM	Enhanced Thematic Mapper Plus
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAA	Federal Aviation Administration
FEWS NET	Famine Early Warning Systems Network
FPAs	Planos focales
Fte	Fuente
FVR	fiebre del Valle del Rift

GCM	Ground circulation Model
GEMI	Normalized Difference Vegetation Index
GFS	the Global Forecast System
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
GPI	GOES Precipitation Index
GTS	Global Telecommunications System
IGBP	Programa Internacional Geosfera-Biosfera
iri	International Research Institute
IST	ISTafrica
ITN's	Insecticide-treated bed nets
KPP	Kinetic Pre-Processor
KPP	Kinetic Pre-Processor
LSI	Rayo de sensor de imagen
LST	Land Surface Temperature
LWIR	Long-Wave Infrared
MADE	Modal Aerosol Dynamics Model for Europe
MADE/SORGAM	Modal Aerosol Dynamics Model for Europe
MALAREO	MALARia Earth Observation
MAP	malaria Athlas Project
MARA	malaria Risk in Africa
MEWS	malaria Early Warning System
MMM	Mesoscale and Microscale Meteorology
MOSAIC	Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry
MWIR	Mid-Wave Infrared
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research's
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
ND	Niveles Digitales
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infra Red
NMM	Nonhydrostatic Mesoscale Model
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration's
NRL	Naval Research Laboratory
NWP	numerical weather prediction
OLI	Operational Land Imager
OMS	Organización Mundial de la Salud
PfEIR	Plasmodium falciparum Entomological Inoculation Rate
PFM	ProtoFlight
PfPR	Plasmodium falciparum Parasite Rate
PfRc	número reproductivo básico bajo control
PR	Precipitation Radar

PVI	Perpendicular Vegetation Index
RBM	Roll Back malaria
SADC	Southern African Development Community
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SDS	Science Data Sets
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSM	Sensor Microwave Imager
SSMIS	Sensor Microwave Imager Sounder Especial
SWM	Water Maker Monitoring
TIR	Thermal Infrared
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Tematic Mapper
TMA	Agencia Meteorológica de Tanzania
TMI	TRMM Microwave Imager
TOGA	Tropical Ocean Global Atmosphere
TRMM	Tropical Rainfal Measuring Mission
TSAVI	Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index
TSM	temperatura superficial del mar
UE	Union Europea
USAID	United States Agency for International Development
USGS	United Sates Geological Survey
UTM	Universal Transversal Mercator
VCAP	Vectorial Capacity
VHR	Very High Resolution
VIRS	Escáner infrarrojo visible
VIS	VISible
WHO	Wordl Health Organization
WRF	The Weather Research & Forecasting Model
WSF	WRF Software Framework
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical





## Capítulo 9.- BIBLIOGRAFÍA

Alan Strahler, Doug Muchoney, Jordan Borak, Mark Friedl, Sucharita Gopal, Eric Lambin, and Aaron Moody. MODIS Land Cover and Land-Cover Change. Center of Remote Sensing Department of Geography. Boston university. Boston, MA. May 1999.

Aldrich, Remote sensing of wildland resources: A state-of-the-art review. USDA Forest Service, General Technical Report RM-71, Rocky Mt. Forest and Range Experiment Station, Ft. Collins, CO. **56 p**, 1979.

Antarpreet Jutla, Ali Shafqat Akanda, Anwar Huq, Abu Syed Golam Faruque, Rita Colwell & Shafiqul Islam: A water marker monitored by satellites to predict seasonal endemic cholera, Remote Sensing Letters, **4:8, 822-831**, 2013.

Ashok Kaushal and C.P. Johnson. Disease surveillance using GIS and remote sensing. Indo-French Workshop on Tele-Epidemiology of Dengue. Pune. 2003.

Balaguer A.;Durrieu & Ruiz L.A. Analysis of geostatistical parameters for texture classification of satellite images, Universidad de Valencia, España, 2008.

Barber, A., and Hayne, T. B.: Some observations on the dispersal of adult anopheles. U.S. Pub. Health Reports, February 1, 1924, xxxix, **195-203**, 1924.

Baret, F., G. Guyot and D.J. Major. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation, 1989.

Barker, D. M., W. Huang, Y.-R. Guo, A. Bourgeois, and X. N. Xiao. A Three-Dimensional Variational Data Assimilation System for MM5: Implementation and Initial Results Mon. Wea. Rev., 132, **897-914**, 2004.

Barros AP, Joshi R, Putkonen J, Burbank DW. A study of the 1999 monsoon rainfall in a mountainous region in central Nepal using TRMM products and rain gauge observation. Geophys Res Lett 27, **3683-3686**, 2000.

Barton, I. J., A. M. Zavody, D. M. O'Brien, D. R. Cutten, R. W. Saunders, and D. T. Llewellyn-Jones, "Theoretical algorithms for satellite-derived sea surface temperatures," *J. Geophys. Res.*, vol. 94, no. D3, pp. **3365-3375**, 1989.

Bayoh MN, Lindsay SW. Effect of temperature on the development of the aquatic stages of *Anopheles gambiae sensu stricto* (Diptera: Culicidae). *Bull Entomol Res* 93, **375-381**, 2003.

Binka F, Akweongo P. Prevention of malaria using ITNs: potential for achieving the millennium development goals. *Curr Mol Med*. 2006 Mar;6(2):**261-7**, 2006.

Bouma, M.J. and H. J. van der Kaay. Epidemic malaria in India and El Niño Southern Oscillation. *The Lancet*, 343, **1440-1444**.

Bouma, M.J. Epidemiology and control of malaria in northern Pakistan with reference to the Afghan refugees, climate change, and El niño Southern Oscillation. ICG Printing, dordrecht, The Netherlands, 1995.

Brad Lobitz, Louisa Beck, Anwar Huq, Byron Wood, George Fuchs, A. S. G. Faruque and Rita Colwell. Climate and infectious disease: Use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *PNAS*, Vol. 97-4, **1438-1443**, 2000.

Bruce-Chwatt, L. J. History of malaria from prehistory to eradication, p. 1-59. In W. H. Wernsdorfer and I. McGregor (ed.), *malaria: principles and practice of malariology* vol. 1. Churchill Livingstone, Edinburgh, United Kingdom, 1988.

C. McSweeney, M. New and G. Lizcano. UNDP Climate Change Country Profiles. Tanzania.

Camillo, P. J., Using one- or two-layer models for evaporation estimation with remotely sensed data in *Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization*, ed. T. J. Schmugge and J. C. André, New York: Springer-Verlag, 1991.

Caselles, V. and J. A. Sobrino, Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data, *Remote Sens. Environ.*, vol. 29, no. 2, pp. **135-146**, 1989.

Ceccato, P., Vancutsem, C., Klaver, R., Rowland, J., Connor, S.J. A Vectorial Capacity Product to Monitor Changing malaria Transmission Potential in Epidemic Regions of Africa. *Journal of Tropical Medicine*, Volume 2012, Article ID 595948, doi:10.1155/2012/595948

Cécile Vignolles, Yves M. Tourre, Oscar Mora, Laurent Imanache and Murielle Lafaye. TerraSAR-X high-resolution radar remote sensing: an operational warning system for Rift Valley fever risk. *Geospatial Health* 5(1), 2010, pp. **23-31**.

Chavatte JM, Chiron F, Chabaud A, Landau I. (2007) Probable speciations by "host-vector 'fidelisation'": 14 species of Plasmodium from Magpies. *Parasite* 14(1):21-37.

Chris J. Drakeley, Ilona Carneiro, Hugh Reyburn, Robert Malima, John P. A. Lusingu, Jonathan Cox, Thor G. Theander, Watoky M. M. Nkya, Martha M. Lemnge, and Eleanor M. Riley. Altitude-Dependent and -independent Variations in Plasmodium falciparum Prevalence in Northeastern Tanzania. *JID*, 2005.

Climate and Satellite Indicators to Forecast Rift Valley Fever Epidemics in Kenya  
Kenneth J. Linthicum, Assaf Anyamba, Compton J. Tucker, Patrick W. Kelley, Monica F. Myers, Clarence J. Peters. *Science* 285, 1999, pp.397-400. DOI: 10.1126/science.285.5426.397. 5 February 1999; accepted 5 May 1999.

Cline, B. *Am.J. Epidemiol.* 92,85-89, 1970.

Colin Ohrt, Kathryn Roberts, Hugh Sturrock, Jennifer Wegbreit, Roly Gosling, and Bruce Lee. Surveillance Systems to Facilitate malaria Elimination. Prepared for the Bill & Melinda Gates Foundation. pp 32. Global Health Sciences. Global Health Group, January 2014.

Combining multispectral images and selected textural features from high resolution images to improve discrimination of forest canopies, *Image & Signal Processing for Remote Sensing IV*, Vol. 3500, pp. 124-134, SPIE ISSN: 0277-786X.

Connor S, Flasse S, Ferryman A, Thomson M. The contribution of Satellite derived information to malaria stratification, monitoring and early warning. *Bull WHO*, WHO/MAL/97.1079, 33, 1997.

Connor SJ: Improved knowledge on the climatic and environmental determinants of malaria distribution in sub-Saharan Africa: implications for improving control planning and reducing vulnerability to malaria (and other climate sensitive diseases). Liverpool: DFID-LSTM malaria Knowledge Programme 2003

Crag, R., M. Sugita, and W. Brutsaert, "Satellite-derived surface temperatures with boundary layer temperatures and geostrophic winds to estimate surface energy fluxes," *J. Geophys. Rev.*, vol. 100, no. D12, pp. 25447-25451, 1995.

Curtin PD. Death by migration. Europe's encounter with the tropical world in the nineteenth century. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

DaSilva J, Garanganga B, Teveredzi V, Marx SM, Mason SJ, Connor SJ: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. *Malar J*, 3:37, 2004.

David M. Carneggie, Donald T. Lauer. Uses of multiband remote sensing in forest and range inventory, Volume 21, Issue 4, pp 115-141, August 1966.

Diak, G. R. and M. S. Whipple, "Improvements to models and methods for evaluating the land-surface energy balance and effective roughness using radiosonde reports and satellite-measured skin temperature data," *Agricul. and Forest Meteorol.*, vol. 63, no. 3-4, pp 189-218, 1993.

Draft global technical strategy for malaria (2016-2030), WHO, Geneva, 2014

Emily K Grover-Kopec, M Benno Blumenthal, Pietro Ceccato, Tufa Dinku, Judy A Omumbo and Stephen J Connor. Web-based climate information resources for malaria control in Africa. *malaria Journal*, 5:38 doi:10.1186/1475-2875-5-38, 2006.

Emmanuel Roux, Annamaria de Fátima Venâncio, Jean-François Girres, Christine A. Romaña. Spatial patterns and eco-epidemiological systems - part II: characterising spatial patterns of the occurrence of the insect vectors of Chagas disease based on remote sensing and field data. *Geospatial Health* 6(1), pp 53-64, 2011.

Epstein, P., and M. Stewart. Saving scarce public health resources and saving lives; Health sector applications of climate forecasting. Preprint. 1996.

Franke J., Bauwens I., Deleu J., de Montpellier C., Dlamini S., Gebreslasie M., Giardina F., Siegert F. and Vounatsou P. MALAREO MapAtlas "Exploring the spatial dimension of malaria and its explaining environmental factors in Southern Africa by Earth Observation" Publicado por RSS - Remote Sensing Solutions GmbH, 2013.

Fuentes, M. Remote sensing and climate data as a key for understanding fasciolosis transmission in the Andes: review and update of an ongoing interdisciplinary project. *Geospatial Health* 1, pp 59-70, 2006.

Geiger, J. C. Purdy, W and Tabertt, R.E. Effective malaria control in a rice field district. With observations on experimental mosquito flights. *Jour. Amer. Med. Assoc.*, 1919, ixvii, 844-847.

Gilabert, M.A., González-Piqueras, J. y García-Haro, J. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*. 8. pp. 35-45, 1997.

Gitelson, A. A., Y. Kaufman, and M. N. Merzlyak, Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, *Remote Sens. Environ.*, 58, 289-298, 1996.

Grassi, B. Studi di uno zoologo sulla malaria. *Atti. Reale Accad. Lincei Mem.* 3:299-511, 1900.

Green RM, Hay SI. The potential of pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. *Rem Sems Environ* 79, **166-175**, 2002.

Greenwood, B.M., K. Bojang, C.J. Whitty and G.A. Targett: malaria. *Lancet*. 365(9469): **pp 1487-98**, 2005.

Grell, G.A., S.E. Peckham, R. Schmitz, S.A. McKeen, G. Frost, W.C. Skamarock and B. Eder: Fully coupled online chemistry within the WRF model. *Atmos. Environ.*, 39, **6957-6975**, 2005.

Grover-Kopec, E. K., et. al. Web-based climate information resources for malaria control in Africa. *malaria Journal*, **5:38**, 2006.

Guo-Jing Yang, Penelope Vounatsou, Marcel Tanner, Xiao-Nong Zhou and Jürg Utzinger. Remote sensing for predicting potential habitats of *Oncomelania hupensis* in Hongze, Baima and Gaoyou lakes in Jiangsu province, China. *Geospatial Health* 1, **pp 85-92**, 2006.

Gupta, S., A.V. Hill, D. Kwiatkowski, A.M. Greenwood, B.M. Greenwood and K.P. Day: Parasite virulence and disease patterns in *Plasmodium falciparum* malaria. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 91(9): **pp 3715-9**, 1994.

Harrison, G. Mosquitoes, malaria and man. John Murray, London, United Kingdom, 1978.

Hay S, Were E, Renshaw M, Noor AM, Ochola S, Olusanmi I: Forecasting, Warning, and Detection of malaria Epidemics: a Case Study. *Lancet* 2003, 361:**1705-1706**, 2003.

Hay SI, Lennon JJ. deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. *Trop Med Int Health* 4, **58-71**, 1999.

Howard E. Aldrich. 1979. *Organizations and Environments*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. Reprinted in paperback, 2006, by BookSurge LLC, Charleston, SC. Reprinted by Stanford University Press in their Stanford Business Classics Series, with a new Introduction, October, 2008.

Howardl, O., Dyar, H. G., and Knab, F. : The mosquitoes of North and Central America and the West Indies, i, **339-345**, 1912.

Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, 83:**195-213**, 2002.

Huete, A.R. A Soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of the Environment*, 25:295-309. L is a correction factor whose values range from 0 (high vegetation cover) to 1 (low vegetation). The index was intended to correct for high soil reflectance in arid regions, 1988.

I. Bauwens, EO in malaria Vector control and Management. 7th European Congress on Tropical Medicine & International Health - 3-6 October 2011, Barcelona, Spain.

I. Bauwens, J. Franke and M. Gebreslasie. MALAREO - Earth Observation to Support malaria Control in Southern Africa, *Proceedings IGARSS 2012*, pp 7252-7255, 2012

I. Bauwens, MALAREO - EO in malaria vector control. GMES Global Land Workshop. Diciembre 2011. Lisboa.

IHI Team. 2012. Prospects for eliminating malaria parasites and vectors in Tanzania. Access Dissemination Conference, White Sands hotel, Dar es Salaam, October 23, 2012.

Irene Masanja. 2012. malaria Control in Tanzania: a health systems perspectives. National malaria Control Forum 2012: April 24, 2012; Ubungu Plaza Hotel, Dar es Salaam.

Irunde H. 2012. Pharmacovigilance activities in Tanzania.. National malaria Control Forum 2012: April 24, 2012; Ubungu Plaza Hotel, Dar es Salaam

Jackson, R. D., R. J. Reginato, and S. B. Idso, "Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements," *Water Resour. Res.*, vol. 13, pp 651-656, 1977.

James Rowland, James Verdin, Chris Funk, Steve Connor, and Molly Brown. 2010.

Enhancing USAID Famine and malaria Early Warning with NASA Earth Science Results. NASA Public Health Program Review. San Antonio, TX. September 27-29, 2010.

Kalluri S, Gilruth P, Rogers D, Szczur M. Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques: A review. *PLoS Pathog* 3(10): e116. doi:10.1371/journal.ppat.0030116, 2007.

Kaufmann, C. and Briegel, H. Flight performance of the malaria vectors *Anopheles gambiae* and *Anopheles atroparvus*. *Vector Ecol.* 2004 Jun;29(1):140-53, 2004.

Kean, B. H., K. E. Mott, and A. J. Russell (ed.). 1978. *Tropical medicine and parasitology: classic investigations*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y.

Kerdiles, H., M. Grondana, R. Rodriguez, and B. Seguin, "Frost mapping using NOAA AVHRR data in the Pampean region, Argentina," *Agricul. and Forest Meteorol.*, vol. 79, pp 157-182, 1996.

Kimura, F. and A. P. Shimiru, "Estimation of sensible and latent heat fluxes from soil surface temperature using a linear air land heat transfer model," *J. Appl. Meteorol.*, vol. 33, no. 4, pp 477-489, 1994.

Kligler, I.J.: Flight of Anopheles mosquitoes. *Tr. Roy. Soc. Trop. Med. and Hyg.*, xviii, 199-202, 1924.

Krotoski, W. A., W. E. Collins, R. S. Bray, P. C. C. Garnham, F. B. Cogswell, R. Gadz, R. Killick-Kendrick, R. H. Wolf, R. Sinden, L. C. Koontz, and P. S. Stanfill, 1982. Demonstration of hypnozoites in sporozoite-transmitted Plasmodium vivax infection. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 31:1291-1293.

Kumm, H. W.: Studies in the dispersion of anopheles mosquitoes. *Amer. Jour. Trop. Med.*, January, ix, 67-77, 1929.

Lacaux JP, Tourre YM, Vignolles C, Ndione JA, Lafaye M,. Classification of ponds from high spatial resolution remote sensing: application to Rift Valley fever epidemics in senegal. *Rem sens Environ* 106, 66-74, 2006.

Lalemant, F. M., Soerono, M., AND S Soekaria, S.: Experiments about the flying radius of some Anopheles. *Meded. v. d. dienst. d. Volksgezond N. ed. Ind.*, 1931, x x, 12-25.

Laveran, A. 1880. Note sur un nouveau parasite trouve´ dans le sang de plusieurs malades atteints de fie`vre palustre. *Bull. Acad. Med.* 9:1235-1236

Le Prince, J. A., and Orsnstina, J.: *Mosquito Control in Panama*. G. P. Putnam's Sons, pp 94-114, 1916.

Le Prince, J. A., and Griffiths, T. H. D.: Flight of mosquitoes. Studies on the distance of flight of Anopheles quadrimaculatus. *U.S. Pub. Health Reports*, May 4, 1917, xxxii, 656-659.

Lindsay M. Beck-Johnson, William A. Nelson, Krijn P. Paaijmans, Andrew F. Read, Matthew B. Thomas, Ottar N. Bjørnstad. The Effect of Temperature on Anopheles Mosquito Population Dynamics and the Potential for malaria Transmission. November 14, 2013 DOI: 10.1371/journal.pone.0079276.

Louisa R. Beck, Bradley M. Lobitz and Byron L. Wood. Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 6-3, pp 217-227, 2000.

Majige Selemani, Sigilbert Mrema, Amri Shamte, Josephine Shabani, Michael J. Mahande, Karen Yeates, Amina S. Msengwa, Maurice C. Y. Mbago and Angelina M. Lutambi. Spatial and space-time clustering of mortality due to malaria in rural Tanzania: evidence from Ifakara and Rufiji Health and Demographic Surveillance System sites. *Malaria Journal* 2015, **14:369** doi:10.1186/s12936-015-0905-y, 2015.

M. H Craig, R. W. Snow, D. le Sueur. A climate-based distribution model of malaria transmission in Africa. *Parasitology Today*, 15(3), pp 105-111, 1999.

M. Hugh-Jones, Applications of Remote Sensing to the Identification of the Habitats of Parasites and Disease Vectors, *Parasitology Today*, vol. 5, no. 8, 1989.

M. Hugh-Jones. Applications of Remote Sensing to the Identification of the Habitats of Parasites and Disease Vectors. *Parasitology Today*, vol. 5, no. 8, pp 244-251, 1989.

M.H. Craig, R.W. Snow and D. le Sueur. A Climate-based Distribution Model of malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitology Today*, vol. 15, no. 3, 1999.

MacCullum, W. G. 1898. On the haematozoan infections of birds. *J. Exp.Med.* 3:117-136, 1898.

Machault V, Vignolles C, Borchhi F, Vounatsou P, Pages F, Briolant S, Lacaux J-P, Rogier C, 2011. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial Health* 5(2), pp 151-168, 2011.

Majige Selemani, Sigilbert Mrema, Amri Shamte, Josephine Shabani, Michael J. Mahande, Karen Yeates, Amina S. Msengwa, Maurice C. Y. Mbago and Angelina M. Lutambi, Spatial and space-time clustering of mortality due to malaria in rural Tanzania: evidence from Ifakara and Rufiji Health and Demographic Surveillance System sites, *malaria Journal* 14:369 doi:10.1186/s12936-015-0905-y, 2015.

Malaria Outbreak Rock Kagera Despite IRS Programme, June 2013.

Mangkoe Winoto: Sanitation of the Tjihea-Plain. *Meded. Burg. Geneesk. D. Ned. Ind.*, iii, 236-274, 1923.

Mannstein, H., "Surface energy budget, surface temperature and thermal inertia," in *Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology*, ed. R. A. Vaughan and D. Reidel, NATO ASI Ser. C: Math. Phys. ci. vol. 201, pp 391-410, Dordrecht, Netherlands: A Reidel Publishing Co., 1987.

Manson, P. On the nature and significance of crescentic and flagellated bodies in malarial blood. *Br. Med. J.* ii:1306-1308, 1894.



Màrius V. Fuentes Remote sensing and climate data as a key for understanding fasciolosis transmission in the Andes: review and update of an ongoing interdisciplinary Project Geospatial Health 1, pp 59-70, 2006.

Maykut, G., "Energy exchange over young sea ice in the central Arctic," J. Geophys. Res., vol. 83, pp 3646-3658, 1978.

McClain, E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, "Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures," J. Geophys. Res., vol. 90, no. C6, pp 11587-11601, 1985.

McFeeters, S.K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. Int. J. Remote Sens., 17, 1425-1432, 1996.

McSweeney, c., New. M. and Lizcano, g. (2008a) UNDP Climate Change Country Profiles: Tanzania. [http://www.geog.ox.ac.uk/research/climate/projects/undp/UNDP\\_reports/Tanzania/Tanzania.lower.report.pdf](http://www.geog.ox.ac.uk/research/climate/projects/undp/UNDP_reports/Tanzania/Tanzania.lower.report.pdf).

Miller, L.H., D.I. Baruch, K. Marsh and O.K. Doumbo: The pathogenic basis of malaria. Nature. 415(6872): pp 673-9, 2002.

Moffett A, Shackelford N, Sarkar S (2007) malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps. PLoS ONE 2(9): e824. doi:10.1371/journal.pone.0000824, 2007.

Mouchet J, Carnevale P, Coosemans M, Julvez J, Manguin S, Richard-Lenoble D, Sircoulon J, 2004. Biodiversity of malaria in the world, John Libbey Euritext, 428 p. Mulokozi. 2012. Management of malaria during pregnancy National malaria Control Forum 2012: April 24, 2012; Ubungu Plaza Hotel, Dar es Salaam.

President's malaria initiative. Ninth Annual Report to Congress. USAAID from American People, Department of Health and Human Services. April 2015.

Nelson, M. J. 1986. *Aedes aegypti*: Biología y Ecología. Organización Panamericana de la Salud. REF: PNSP/86-93. Washington, D.C: 50, 1986.

Nicodem Govella. Vector Biology and Control update in Tanzania, National malaria Control Forum 2013, Blue Pearl Hotel, Dar es Salaam

Nosten, F., R. McGready, J.A. Simpson, K.L. Thwai, S. Balkan, T. Cho, L. Hkirijaroen, S. Looareesuwan and N.J. White: Effects of Plasmodium vivax malaria in pregnancy. Lancet. 354(9178): pp 546-9, 1999.

Odongo-Aginga, E., Ssegwanyi, G., Kategere, P. and Vuzi, P.C. Relationship between malaria infection intensity and rainfall pattern in Entebbe peninsula, Uganda. *Afr Health Sci.* ; 5(3): 238-245, Sep 2005.

Olivier JT Briët, Penelope Vounatsou, Dissanayake M Gunawardena, Gawrie NL Galappaththy and Priyanie H Amerasinghe. Temporal correlation between malaria and rainfall in Sri Lanka. *malaria Journal*, 7:77 doi:10.1186/1475-2875-7-77, 2008.

Oscar Alberto Bernal Acevedo. *Umbrales Epidémicos en malaria*. Barcelona, Septiembre 2006.

P. Ceccato, S.J. Connor, I. Jeanne and M.C. Thomson. Application of Geographical Information Systems and Remote Sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. *Parassitologia* 47: 81-96, 2005.

Pinty, B. and M. M. Verstraete 'GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites', *Vegetation*, 101, 15-20, 1992.

PRESIDENT'S MALARIA INITIATIVE, Tanzania malaria Operational Plan FY 2014.

R. Bodker, J. Akida, D. Shayo, W. Kisinza, H. A. Msangeni, E. M. Pedersen and S. W. Lindsay. Relationship Between Altitude and Intensity of malaria Transmission in the Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of Medical Entomology*, 40(5), 706-717, 2003.

Remote sensing of wildland resources: A state-of-the-art review. USDA Forest Service, General Technical Report RM-71, Rocky Mt. Forest and Range Experiment Station, Ft. Collins, CO. 56.

Renata Mandike. Summary of THMIS: malaria and anaemia. National malaria Control Forum 2013: April 25, 2013; Blue Pearl Hotel, Dar es Salaam, 2003.

RENÉ BØDKER,\*HAMISI A. MSANGENI, WILLIAM KISINZA, AND STEVE W. LINDSAY Danish Bilharziasis Laboratory, Charlottenlund, Denmark; National Institute of Medical Research, Amani, Tanzania; School of Biological and Biomedical Sciences, Durham University, Durham, United Kingdom. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 74(5), pp 716-723, 2006.

Reuter H.I, A. Nelson, A. Jarvis, An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data, *International Journal of Geographic Information Science*, 21:9, 983-1008, 2007.

Richard Kiang. NASA malaria Modeling and Surveillance project for the Greater Mekong Sub-region 1999.

Richard, E. R.: Estudios sobre el alcance de vuelo del *Anopheles pseudopunctipennis* en el norte argentino. (Informe prel.) Bol. Instit. Clin. Quir., iv, **131-142**, 1928.

Richardson, and Wiegand (1977) Distinguishing vegetation from soil background information. Photogramm. Eng. Rem.Sens. 43:**1541-1552**, 1977.

Ross, R. On some peculiar pigmented cells found in two mosquitoes fed on malarial blood. Br. Med. J. ii: **1736-1788**, 1897.

Ross, R. The role of the mosquito in the evolution of the malaria parasite. Lancet ii:**488-489**, 1898.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. Monitoring vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Proc. Third ERTS-1 Symposium, NASA Goddard, NASA SP-351 pp **309-317**, 1974.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, ON, Canada, 10-14; Volume SP-351, pp **309-317**, December 1973.

RUBIO-PALIS, YASMIN; ZIMMERMAN, ROBERT H. Ecoregional Classification of malaria Vectors in the Neotropics. Journal of Medical Entomology, Volume 34, Number 5, pp **499-510(12)**, September 1997.

Satya Kalluri, Peter Gilruth, David Rogers and Martha Szczur. Surveillance of Arthropod Vector-Borne Infectious Diseases Using Remote Sensing Techniques: A Review. PLoS Pathogens, Volume 3, Issue 10, pp **1361-137**, 2007.

Schmugge, T. J. and F. Becker, "Remote sensing observations for the monitoring of land-surface fluxes and water budgets," in Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization, ed. T. J. Schmugge and J. C. André, New York: Springer-Verlag, 1991.

Selemani, M., Mrema, S., Shamte, A., Shabani, J., Mahande, M.J., Yeates, K., Msengwa, A.S., Mbago, M.C.Y. and Lutambi, A.M., Spatial and space-time clustering of mortality due to malaria in rural Tanzania: evidence from Ifakara and Rufiji Health and Demographic Surveillance System sites, Malaria Journal, 14:369 doi:10.1186/s12936-015-0905-y, 2015.

Sella, M.: The antimalarial campaign at Fiumicino (Rome), with epidemiological and biological notes. Internat. Jour. Pub. Health, 1920, i, **316-346**.

Sellers, P. J., F. G. Hall, G. Asrar, D. E. Strebel, and R. E. Murphy, "The first ISLSCP Field Experiment (FIFE)," *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, vol. 69, no. 1, pp 22-27, 1988.

Shen, L.; Li, C. Water Body Extraction from Landsat ETM+ Imagery Using Adaboost Algorithm. In Proceedings of 18th International Conference on Geoinformatics, 18-20, Beijing, China; pp 1-4, June 2010

Shortt, H. E., and P. C. C. Garnham. Pre-erythrocytic stages in mammalian malaria parasites. *Nature* 161:126, 1948.

Sinha, A., "Relative influence of lapse rate and water vapor on the greenhouse effect," *J. Geophys. Res.*, vol. 100, no. D3, pp 5095-5103, 1995.

Sinka, M.E., Bangs, M.J., Manguin, S., Rubio-Palis, Y., Chareonviriyaphap, T., Coetzee, M., Mbogo, C.M., Hemingway, J., Patil, A.P., Temperley, W.H., Gething, P.W., Kabaria, C.W., Burkot, T.R., Harbach, R.E. and Hay, S.I. A global map of dominant malaria vectors. *Parasites and Vectors*, 5: 69, 2012.

Swellengrebel, N.H., ANDS WELLENGREBDEL de GRAAF, J. M. H.: Report on the occurrence of malaria and Anophelines at Samarang. *Meded. v. d. Burg. Geneesk. D. Ned. Ind.*, x, 113-168, 1919.

TANZANIA: MALARIA OUTBREAK IN KAGERA No. MDRTZ003, 21 July 2006.

TANZANIA: malaria Outbreak in Kagera. Final report. DREF Bulletin n° MDRTZ003, 11 abril 2007.

Teklehaimanot HD, Lipsitch M, Teklehaimanot A, Schwartz J: Weather-based prediction of Plasmodium falciparum malaria in epidemic-prone regions of Ethiopia I. Patterns of lagged weather effects reflect biological mechanisms. *Malar J.*, 3:41, 2004.

The President's malaria initiative. Ninth Annual Report to Congress. USAID from American People, Department of Health and Human Services. April 2015.

Umbral epidémico en malaria, Oscar Alberto Bernal Acevedo, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Barcelona, Septiembre 2006.

Van Breemen, C. Uses of multiband remote sensing in forest and range inventory. *Photogrammetria* 21: 115-141, 1920.

Van Breemen, C. Further particulars relating to the malaria problema at Weltevreden and Batavia. *Meded. v. d. Burg. Geneesk. D. Ned. Ind.*, iv, 62-115, 1920

Vancutsem C, Ceccato P, Dinku T, Connor SJ. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. *Rem Sens Environ* 114, **449-465**, 2010.

Vanessa Machault, Cécile Vignolles, François Borchì, Penelope Vounatsou, Frédéric Pages, Sébastien Briolant, Jean-Pierre Lacaux and Christophe Rogier. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial Health* 5(2), pp **151-168**, 2011.

Vignolles C, Lacaux JP, Tourre YM, Bigeard G, Ndione JA, Lafaye M. Rift Valley fever in a zone potentially occupied by *Aedes vexans* in Senegal: dynamics and risk mapping. *Geospat Health* 3, **211-220**, 2009.

Vincent Martin, Lorenzo De Simone, Juan Lubroth, Pietro Ceccato, Véronique Chevalier. Perspectives on using remotely-sensed imagery in predictive veterinary epidemiology and global early warning systems. *Geospatial Health* 2(1), pp **3-14**, 2007.

Vining, R. C. and B. L. Blad, "Estimation of sensible heat flux from remotely sensed canopy temperatures," *J. Geophys. Res.*, vol. 97, no. D17, pp **18951-18954**, 1992.

W. Philpot, Cornell University, Spring. CEE 6150: Digital Image Processing, 2011.

Warchot, A. and Whelan, P. Constructed Wetlands in the Northern Territory Guidelines to Prevent Mosquito Breeding. Medical Entomology Centre for Disease Control NT Department of Health and Families, May 2008.

WHO Report, malaria Fact Sheet N°94, Reviewed April 2015.

WHO, Country list1, Yellow fever vaccination; requirements and recommendations; malaria situation; and other vaccination requirements.

WHO: Final report on the 3rd meeting of the RBM Technical Resource Network on Epidemic Prevention and Control. Geneva: World Health Organization; 2002.

WHO: malaria Early Warning Systems: concepts, indicators and partners: A framework for field research in Africa. In malaria Early Warning Systems: concepts, indicators and partners: A framework for field research in Africa. WHO/CDS/RBM/2001.32 Geneva: World Health Organization; 2001.

WHO: malaria epidemics: forecasting, prevention, early warning and control - From policy to practice. Geneva: World Health Organization; 2004.

WHO: Web-based tool for early warning of malaria epidemics in Africa: monitoring rainfall anomalies in zones at epidemic risk. *Weekly Epidemiological Record* 2002:276.

William C. Skamarock, Joseph B. Klemp, Jimy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN-475+STR, NCAR TECHNICAL NOTE, June 2008.

Wilson, E.H.; Sader, S.A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sens. Environ.* 80, **385-396**, 2002.

World malaria report : 2010, ISBN 978 92 4 156410 6.

World malaria report : 2011, ISBN 978 92 4 156440 3.

World malaria report : 2012, ISBN 978 92 4 156453 3.

World malaria report: 2009, ISBN 978 92 4 156390 1.

World malaria Report: 2013, ISBN 9 789241 56469 4.

World malaria Report. 2014, ISBN 978 92 4 156483 0.

Xing Zhao, Fei Chen, Zijian Feng, Xiaosong Li and Xiao-Hua Zhou. Characterizing the effect of temperature fluctuation on the incidence of malaria: an epidemiological study in south-west China using the varying coefficient distributed lag non-linear model. *Zhao et al. malaria Journal*, **13:192**, 2014.

Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 27, **3025-3033**, 2006.

Zhang, L., R. Lemeur, and J. P. Goutorbe, "A one-layer resistance model for estimating regional evapotranspiration using remote sensing data," in *Agricul. and Forest Meteorol.*, vol. 77, pp **241-261**, 1995.

## ANEXO

### I - ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DE VCAP, Vector Capacity, COMO INDICADOR DE LA INCIDENCIA DE LA MALARIA EN TANZANIA

El informe emitido por lo Organización Mundial de la Salud del año 2013, indicaba el impacto de la malaria en Tanzania durante el año 2012 mediante el siguiente gráfico:

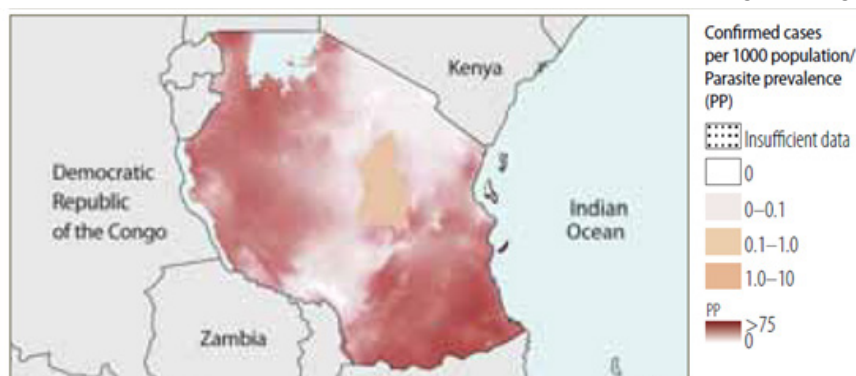
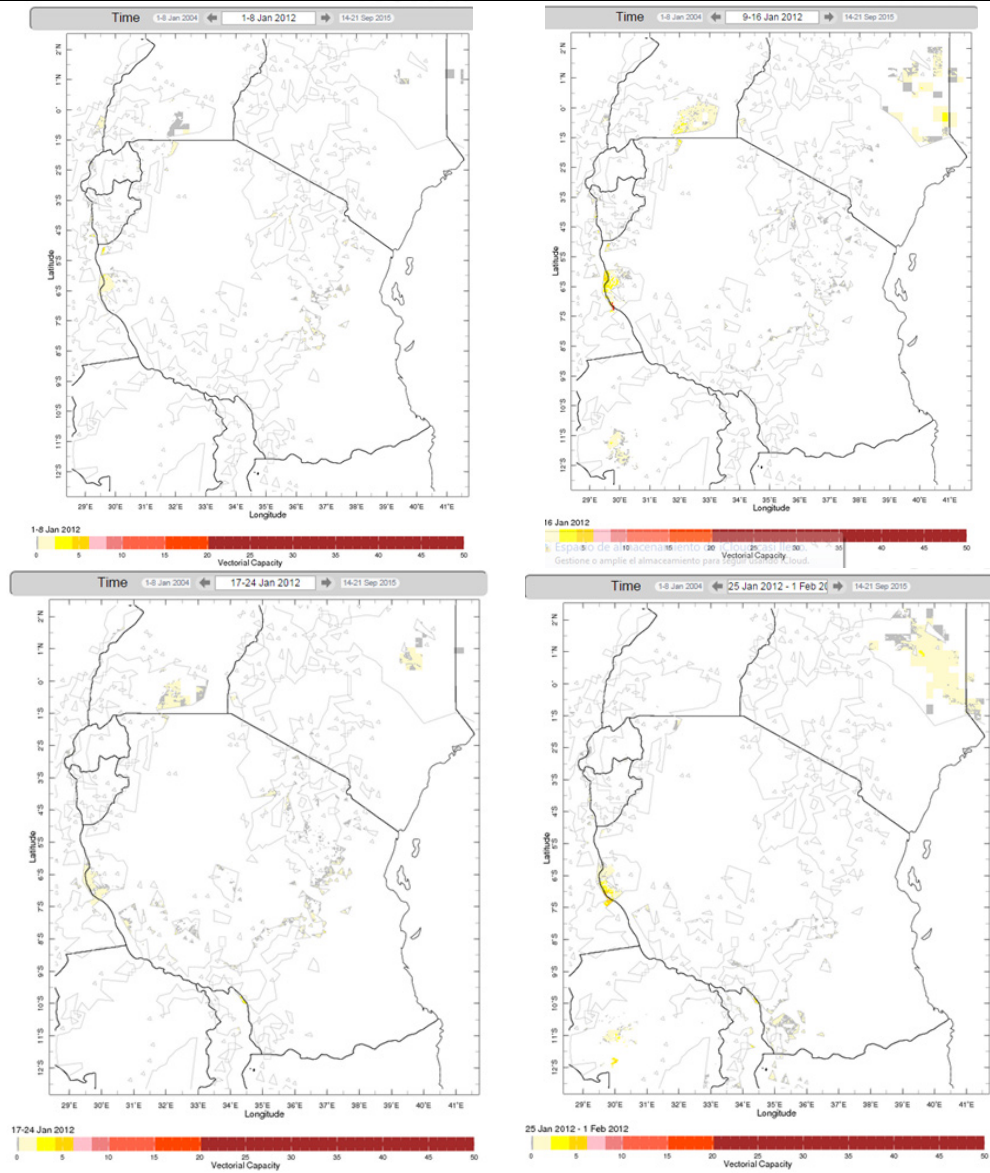


Figura 111: Informe de la Organización Mundial de la Salud 2013

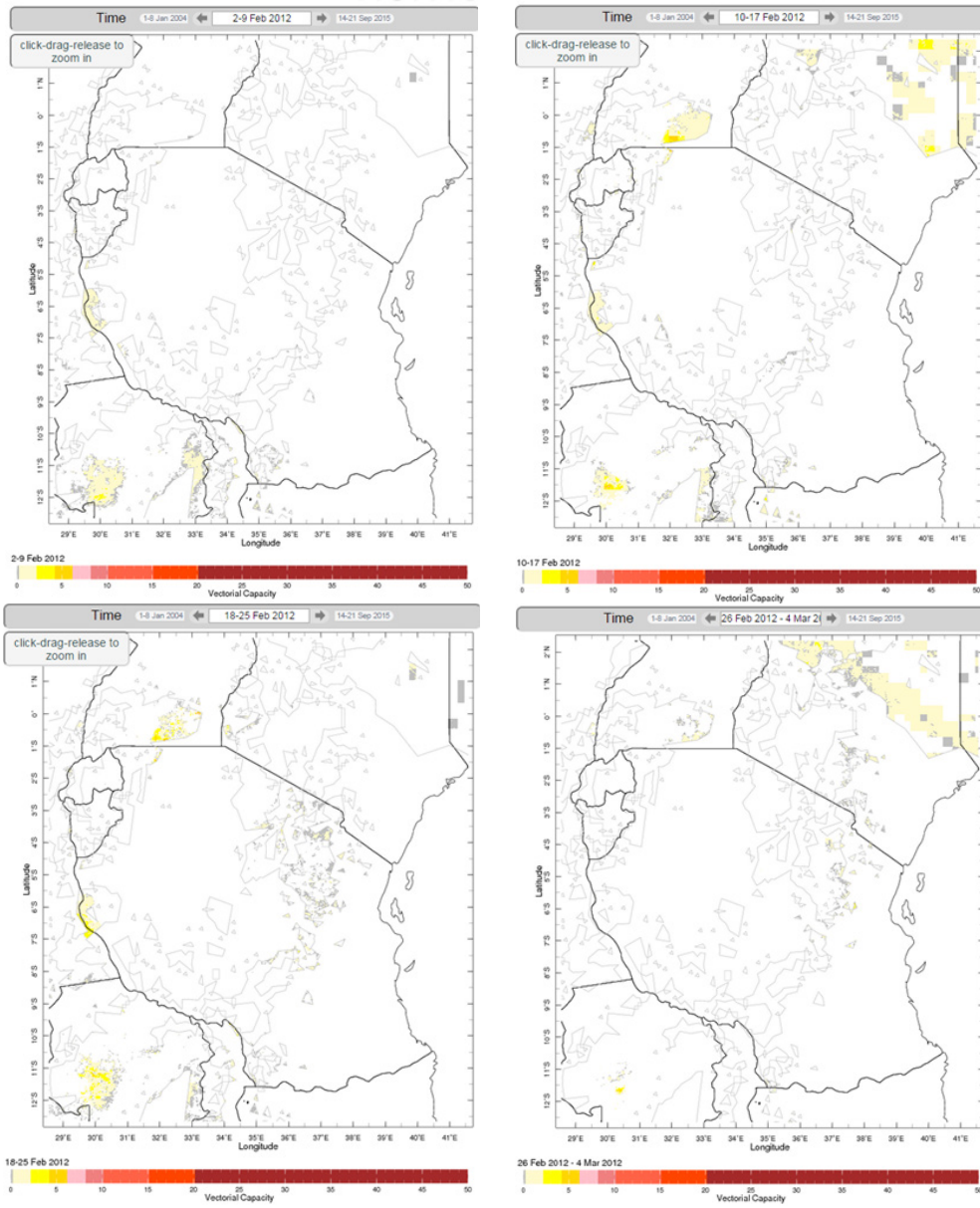
En el mapa se puede apreciar un fuerte impacto tanto en la zona este como en la oeste del país, quedando algo menos afectada la zona central. En comparación con los datos de otros años, este año puede calificarse de bastante grave. Los valores de VCAP extraídos de la web de la Universidad de Columbia que soporta el sistema MEWS: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/mAbriloom/Health/Regional/Africa/malaria/System.html> son los siguientes:

Valores extraídos de la universidad de Columbia

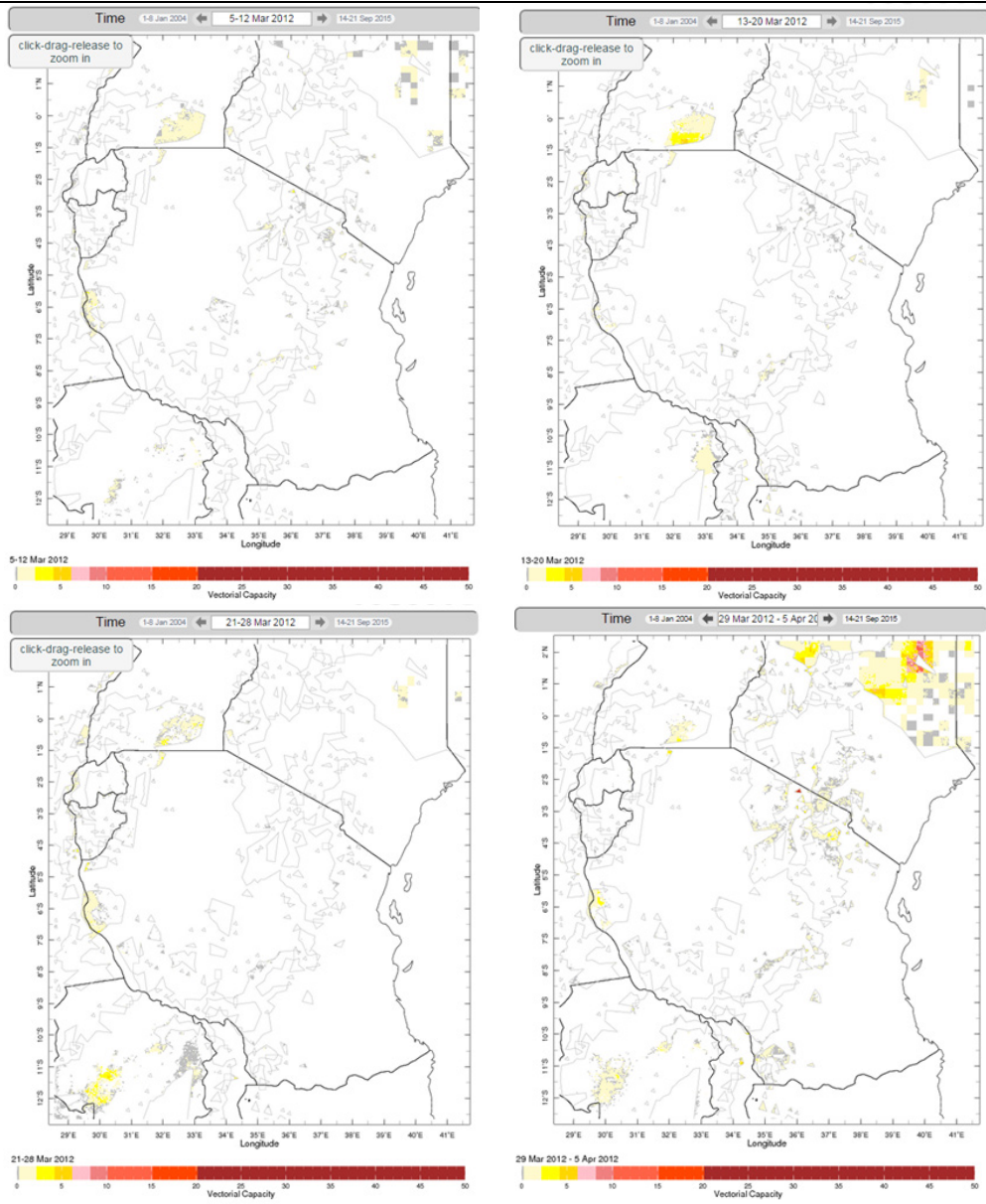




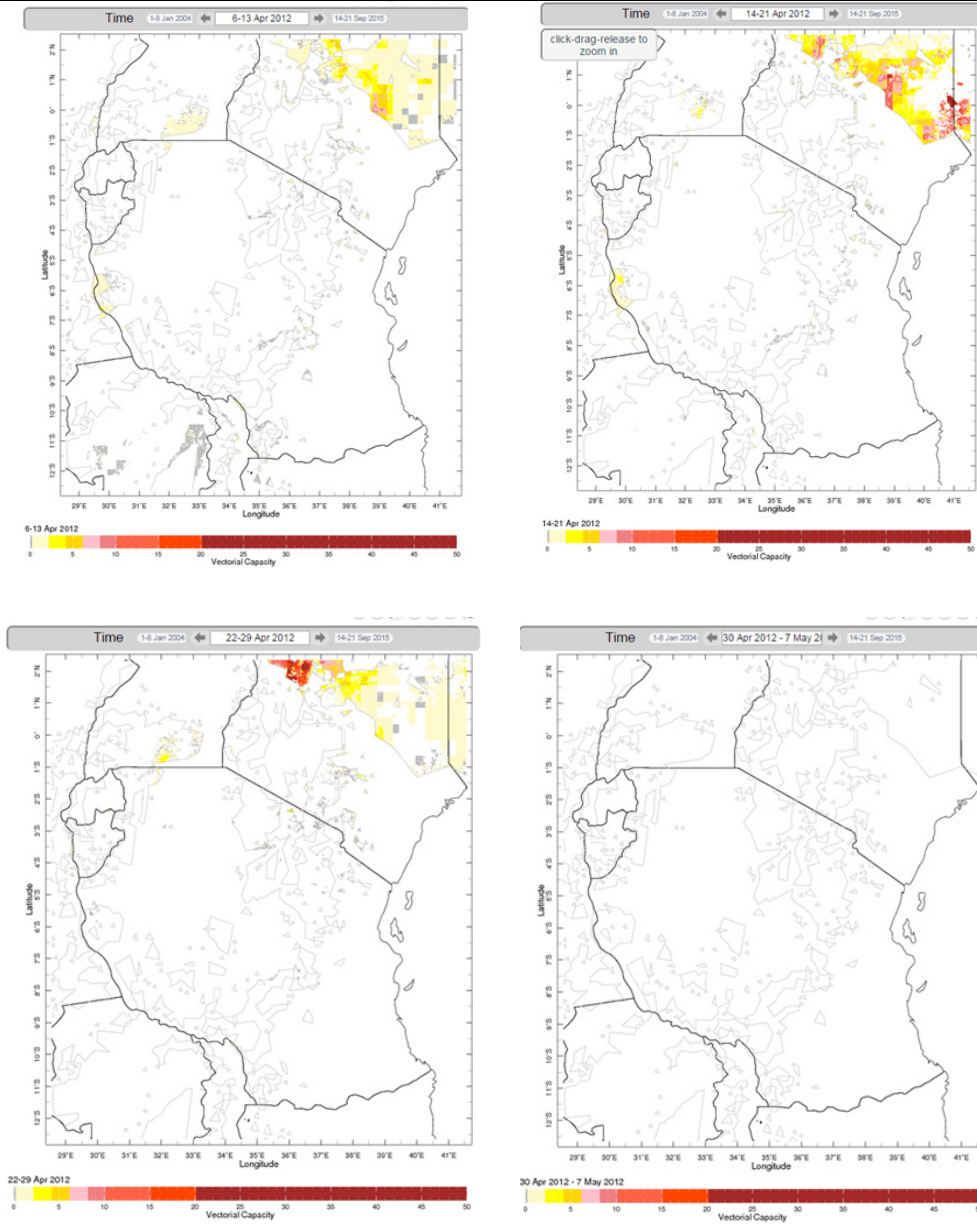
Valores extraídos de la universidad de Columbia



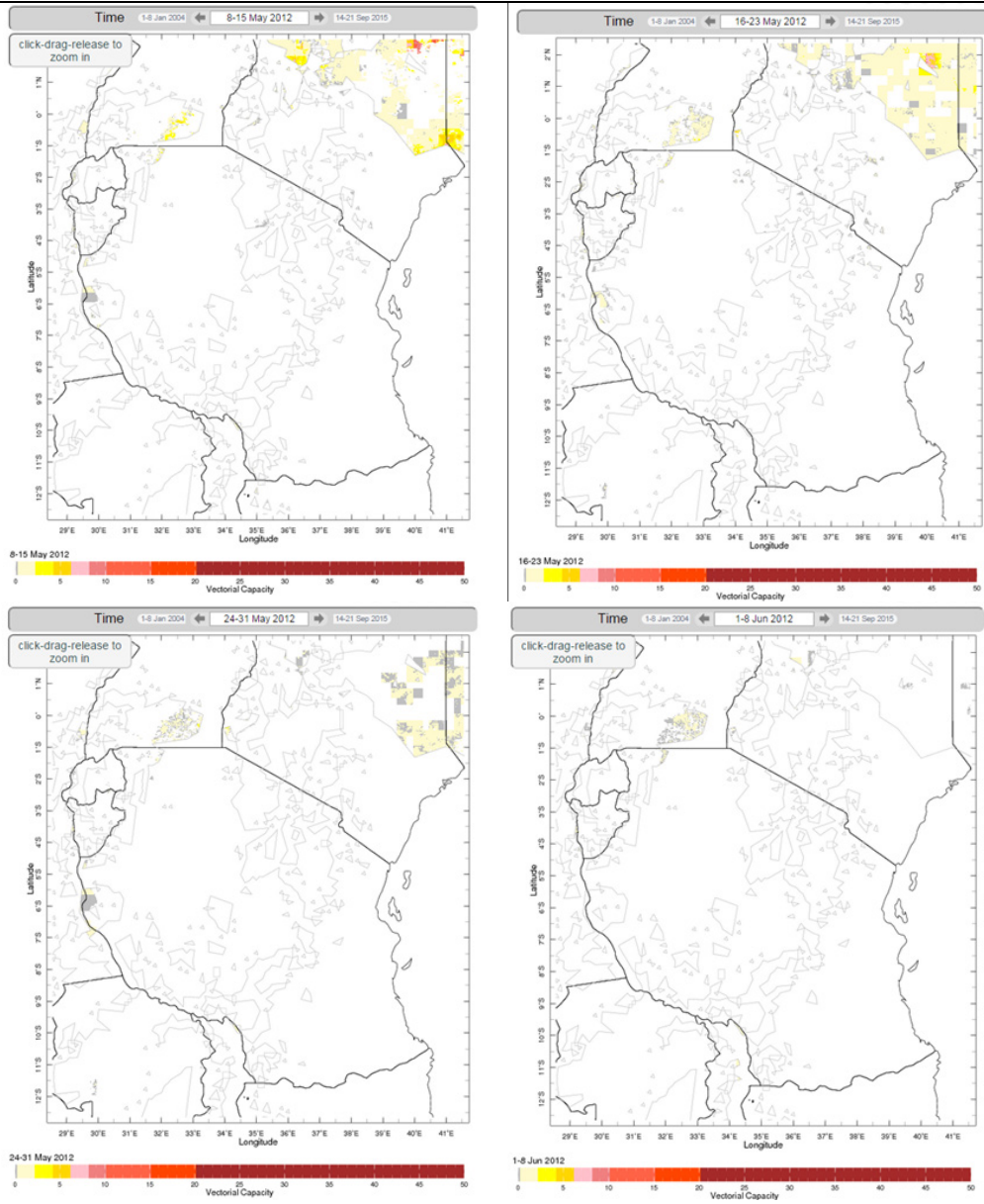
Valores extraídos de la universidad de Columbia



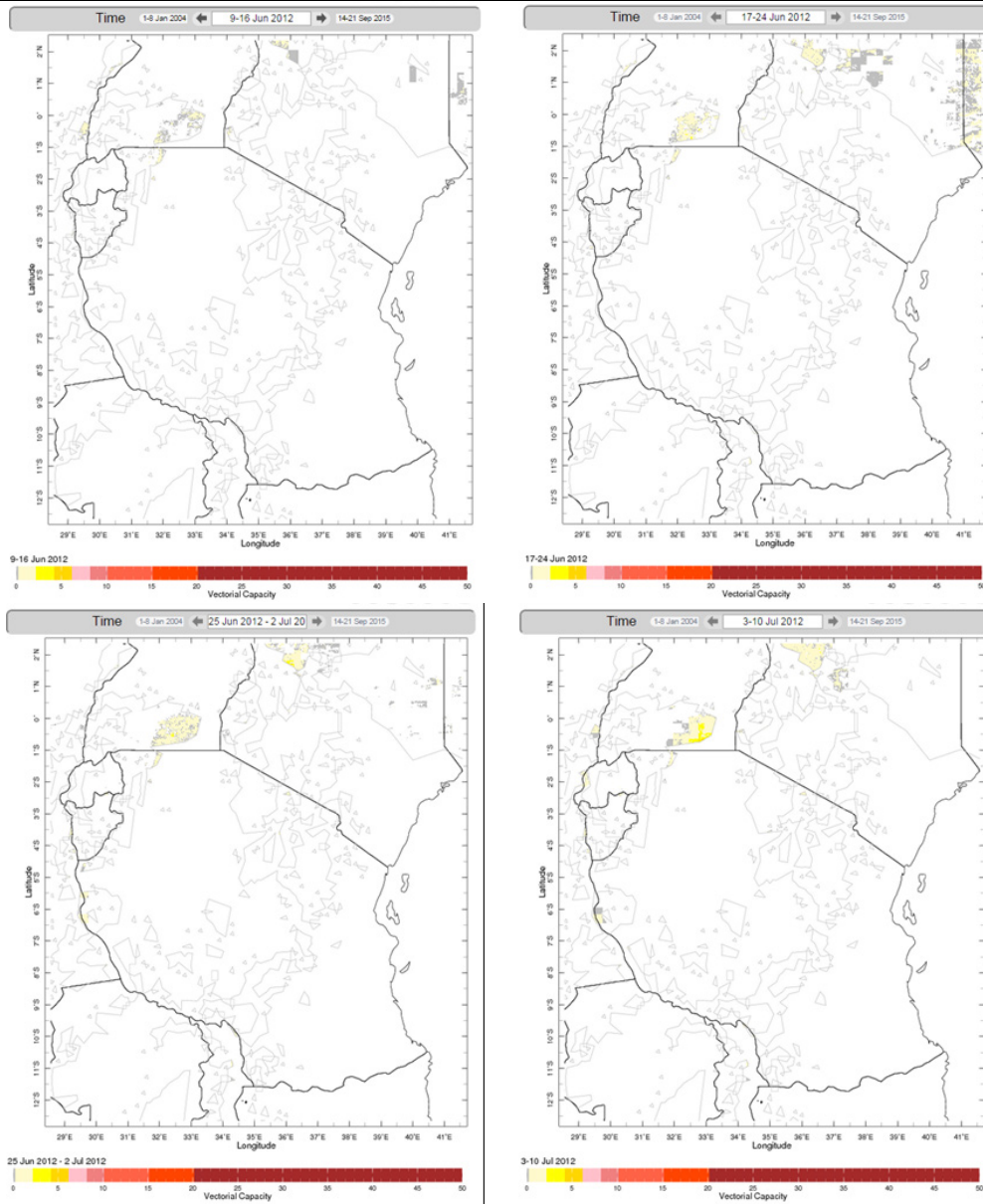
Valores extraídos de la universidad de Columbia



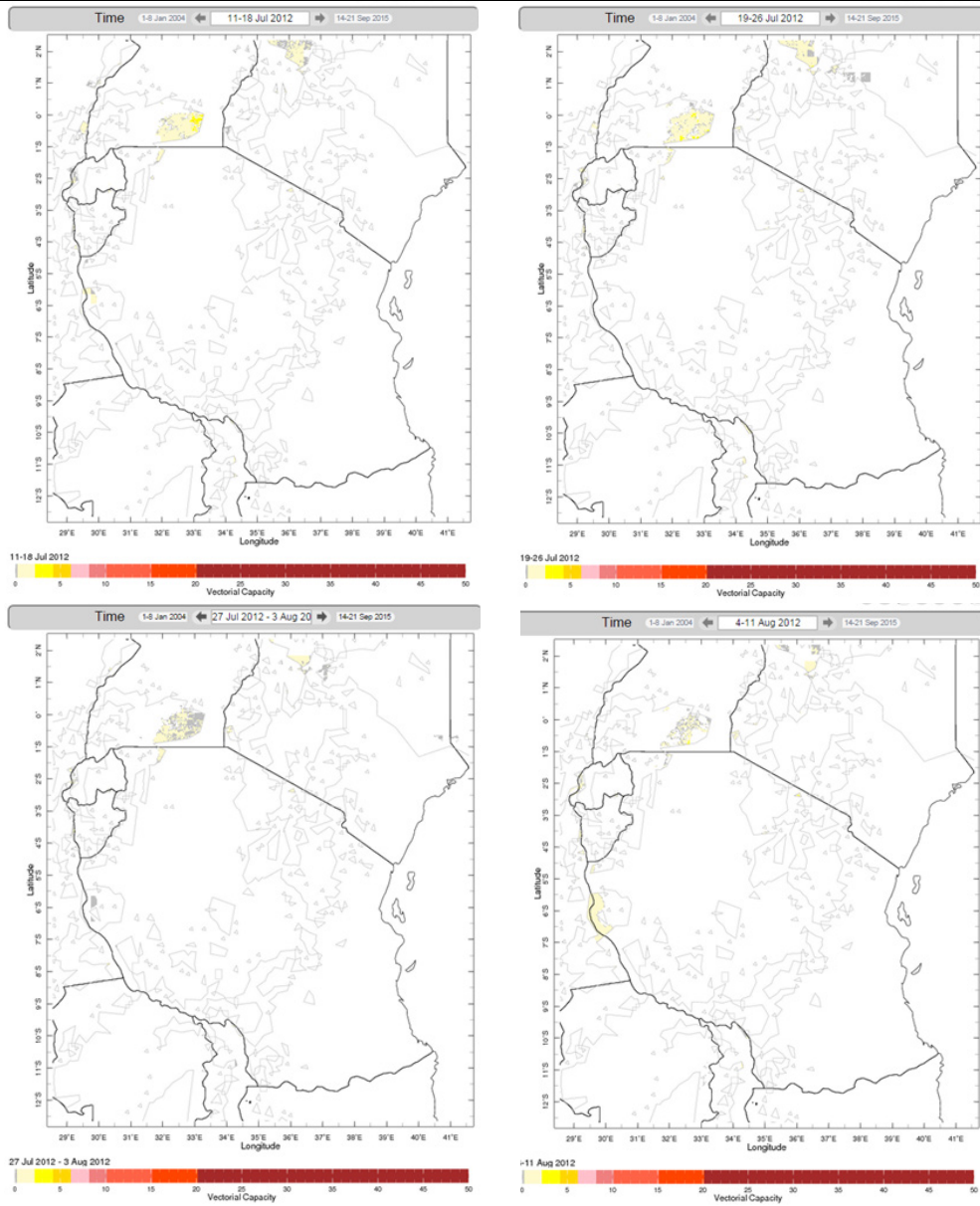
Valores extraídos de la universidad de Columbia



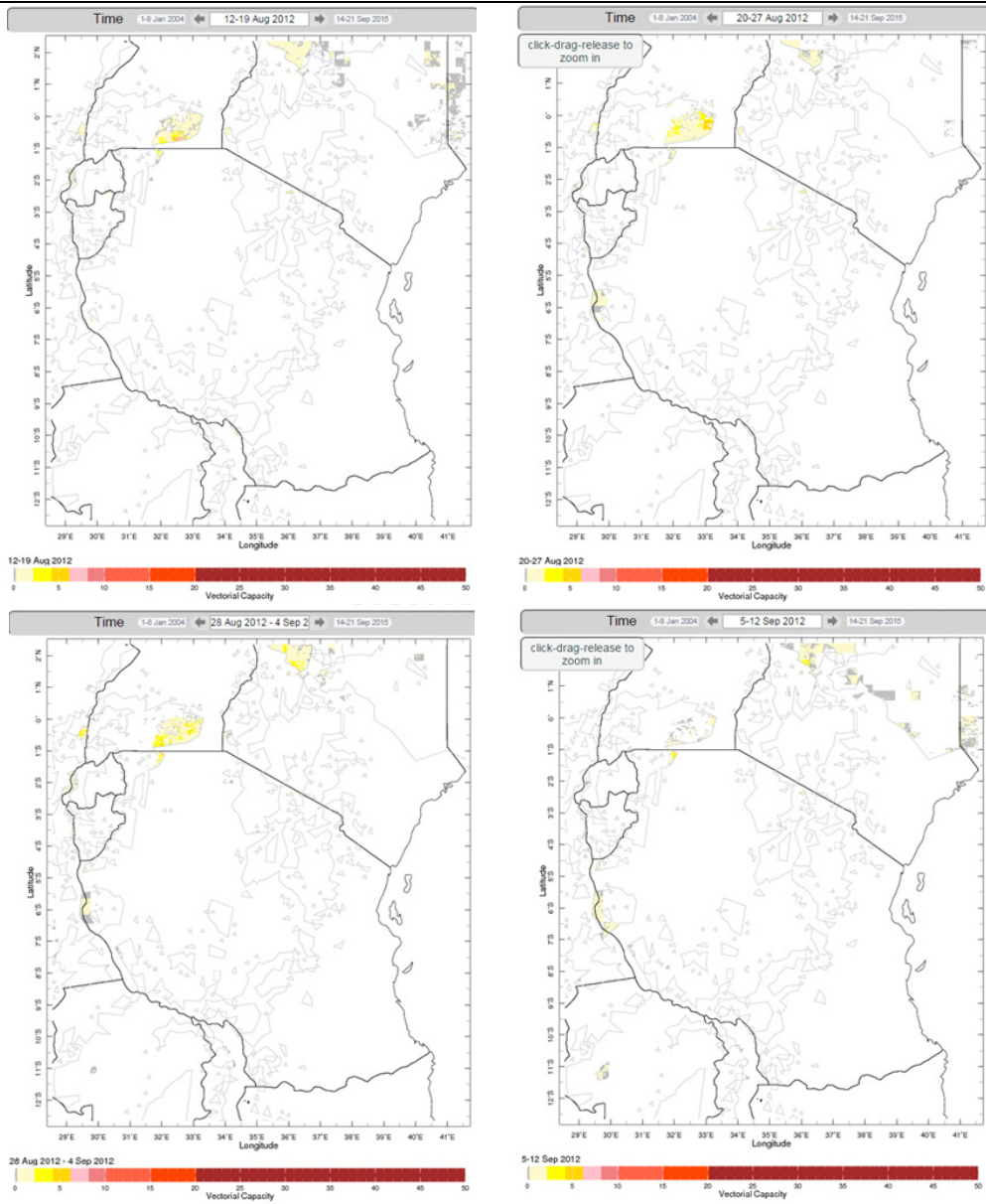
Valores extraídos de la universidad de Columbia



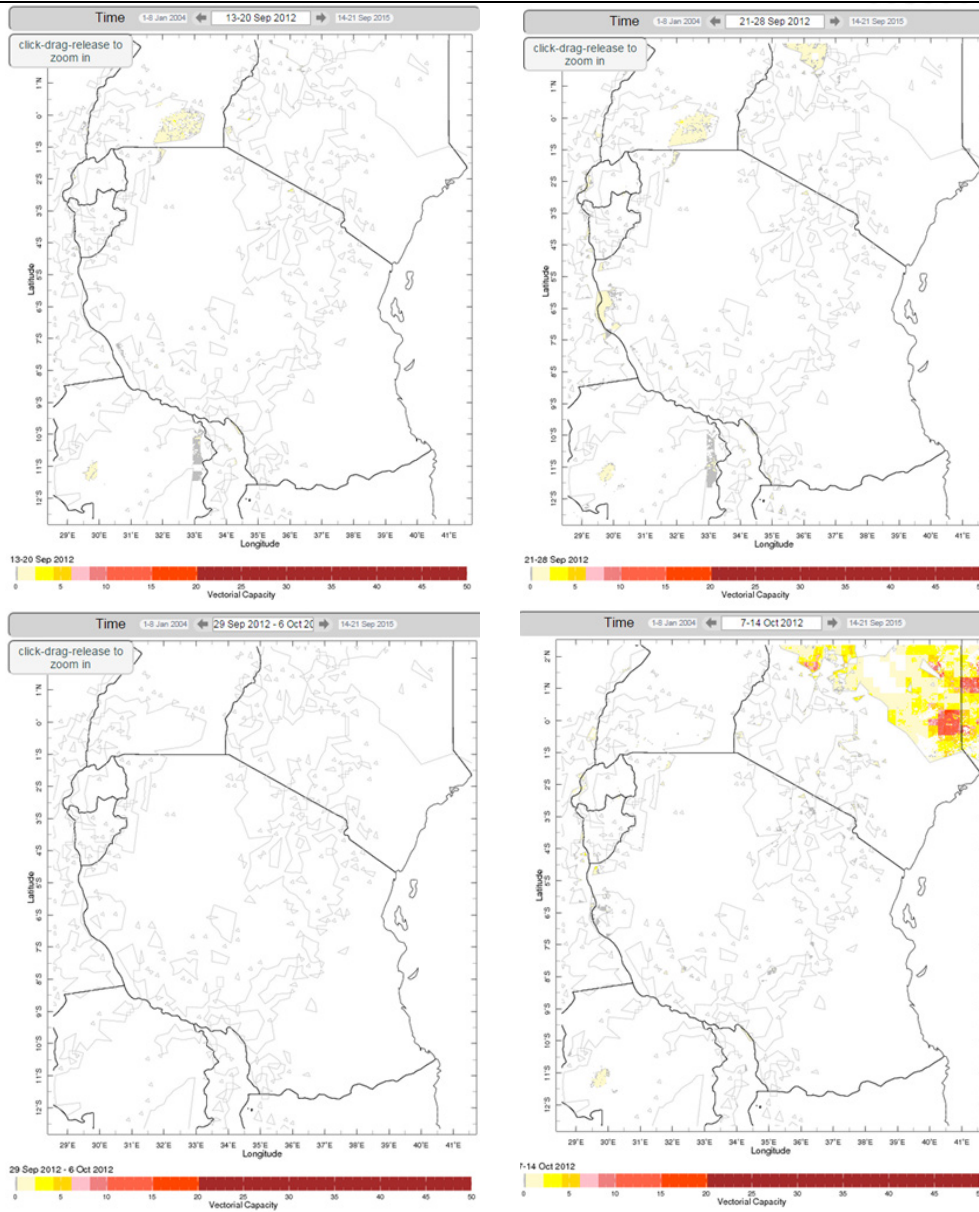
Valores extraídos de la universidad de Columbia



Valores extraídos de la universidad de Columbia

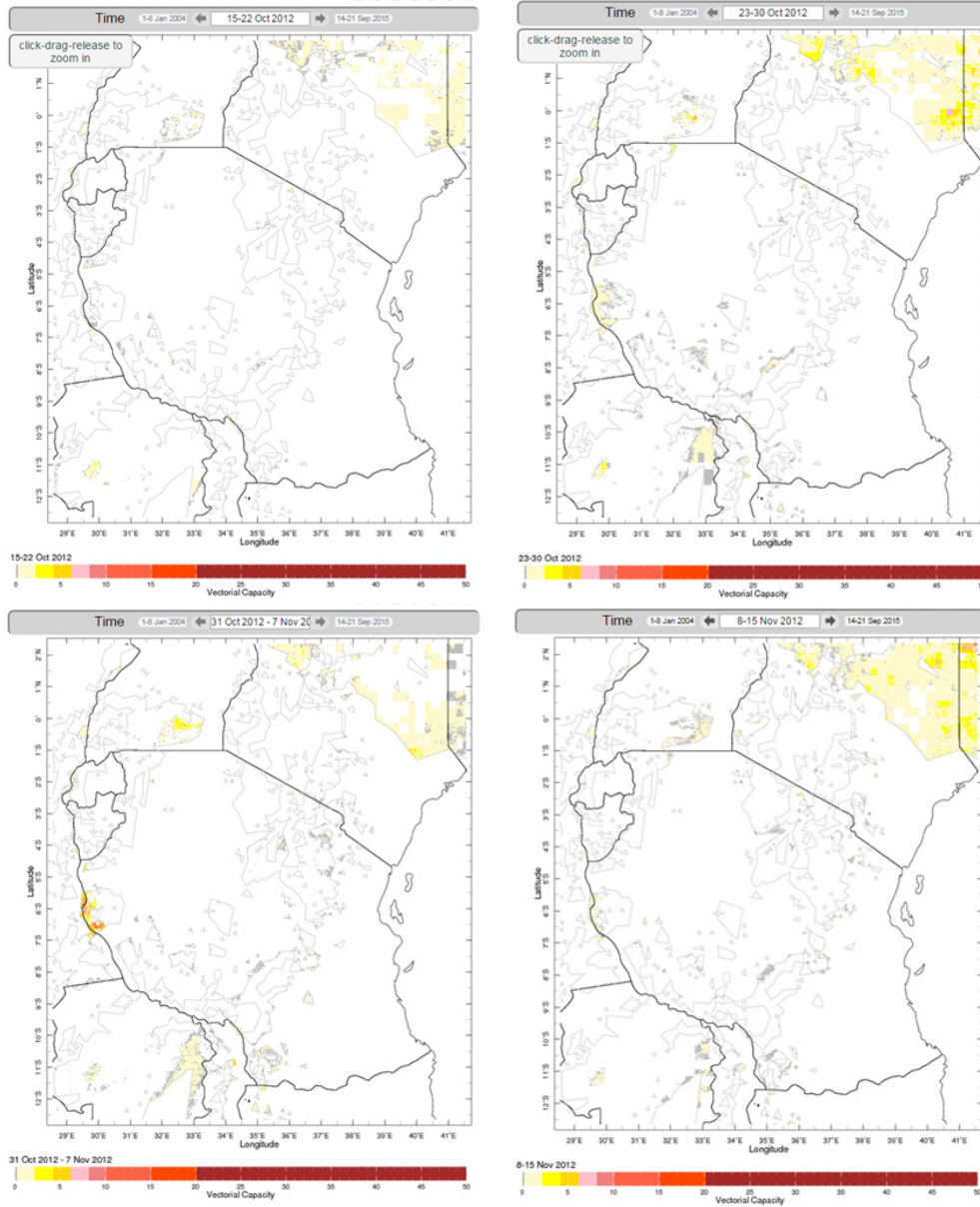


Valores extraídos de la universidad de Columbia

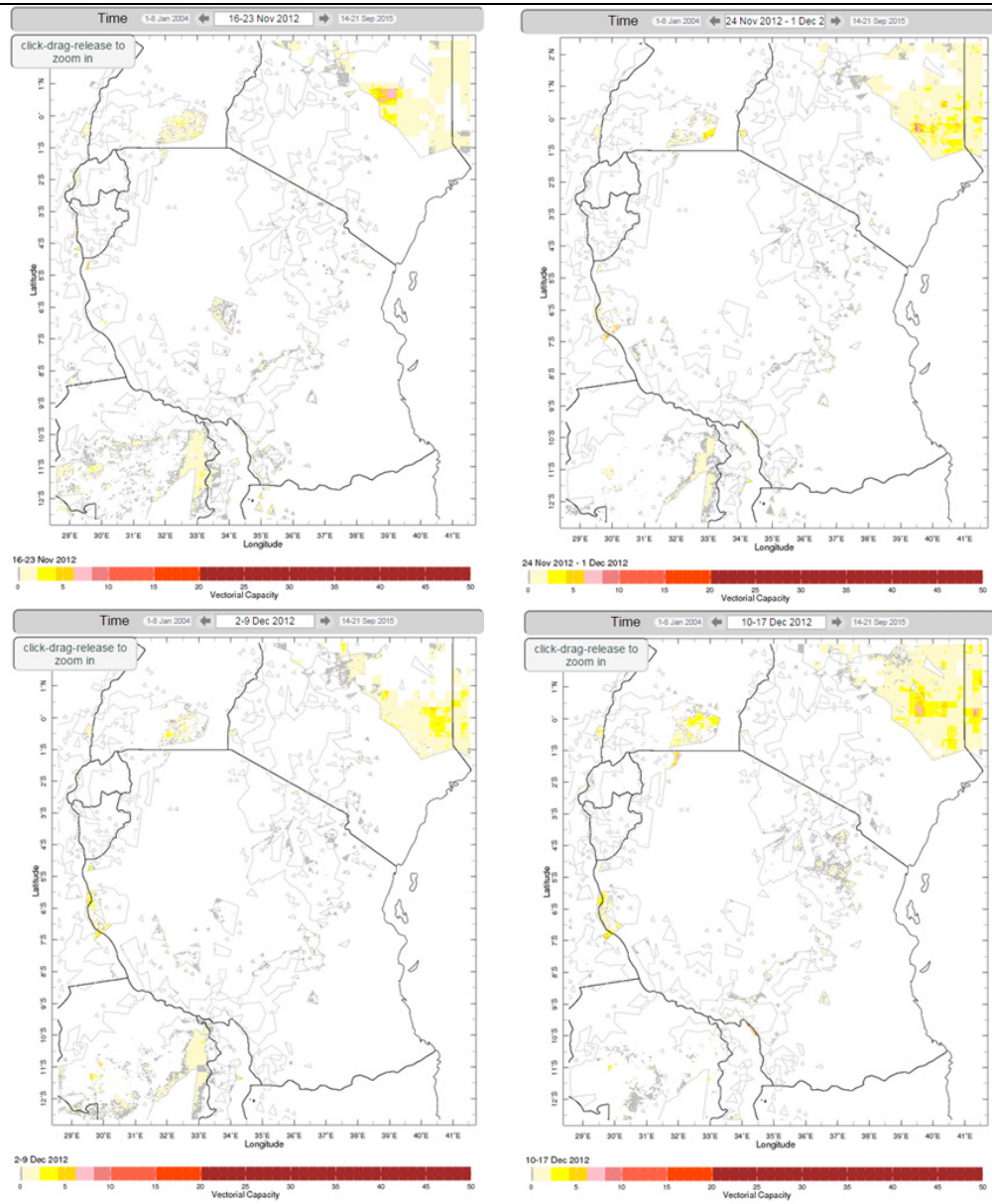




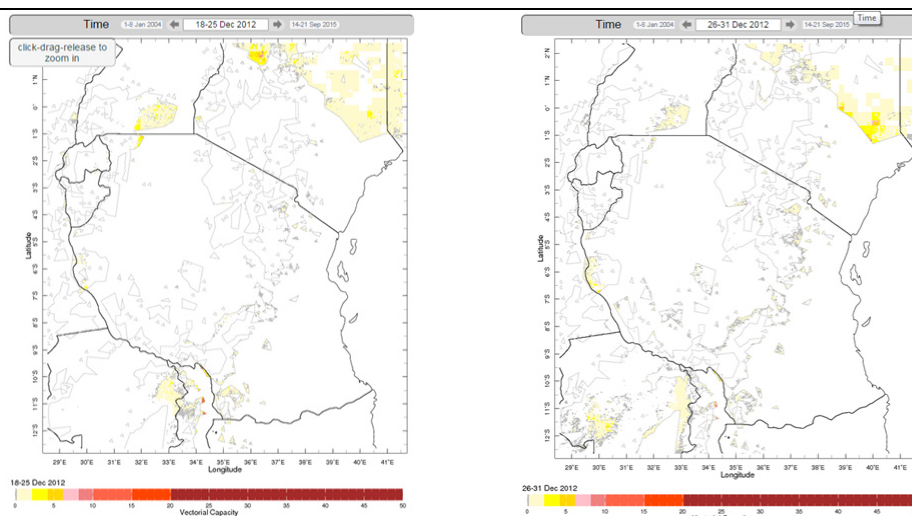
Valores extraídos de la universidad de Columbia



Valores extraídos de la universidad de Columbia



## Valores extraídos de la universidad de Columbia



Como puede comprobarse ninguno de los detalles que caracterizan el impacto de la malaria ese año aparece reflejado en los valores de VPAC. A lo largo del año su valor es casi nulo, no hay diferencias entre ninguna de las zonas de Tanzania y, en general, excepto un pequeño incremento en el oeste a finales de Octubre, no hay nada que haga pensar que la situación fuese grave.

En cuanto a los valores de VPAC para 2006 en los distritos de Karagwe and Muleba, en la provincia de Kagera, los valores de VPAC son casi nulos, cuando en la mitad de ese año ya había miles de muertos en ellos (DREF Bulletin n° MDRTZ003, 2007).

Véase la siguiente Tabla:

**Tabla 70:** Valores VCAP Muleba y Karagwe

Fecha	VCAP MULEBA	VCAP KARAGWE
1-8 enero 2006	0'12	0'00
9-16 enero 2006	0'35	0'00
17-24 Enero 2006	0'02	0'00
25 Enero 2006 - 1 Febrero 2006	0'07	0'00
2-9 Febrero 2006	0'00	0'00
10-17 Febrero 2006	0'15	0'00
18-25 Febrero 2006	0'06	0'00
26 Febrero 2006 - 5 Marzo 2006	0'17	0'01
6-13 Marzo 2006	0'71	0'00
14-21 Marzo 2006	0'02	0'00
30 Marzo 2006 - 6 Abril 2006	0'07	0'00
7-14 Abril 2006	0'08	0'00
15-22 Abril 2006	0'15	0'00
23-30 Abril 2006	0'02	0'00

Fecha	VCAP MULEBA	VCAP KARAGWE
1-8 Mayo 2006	0'08	0'00
9-16 Mayo 2006	0'36	0'00
17-24 Mayo 2006	0'07	0'00
25 Mayo 2006 - 1 Junio 2006	0'00	0'00
2-9 Junio 2006	0'00	0'00
10-17 Junio 2006	0'00	0'00
18-25 Junio 2006	0'00	0'00
26 Junio 2006 - 3 Julio 2006	0'00	0'00
4-11 Julio 2006	0'00	0'00
12-19 Julio 2006	0'00	0'00
20-27 Julio 2006	0'04	0'00
28 Julio 2006 - 4 Agosto 2006	0'00	0'00
5-12 Agosto 2006	0'02	0'00
13-20 Agosto 2006	0'00	0'00
21-28 Agosto 2006	0'01	0'00
29 Agosto 2006 - 5 Septiembre 2006	0'01	0'00
6-13 Septiembre 2006	0'00	0'00
14-21 Septiembre 2006	0'10	0'00
22-29 Septiembre 2006	0'05	0'00
30 Septiembre 2006 - 7 Octubre 2006	0'03	0'00
8-15 Octubre 2006	0'00	0'00
16-23 Octubre 2006	0'13	0'00
24-31 Octubre 2006	0'14	0'00
1-8 Noviembre 2006	0'03	0'00
9-16 Noviembre 2006	0'54	0'00
17-24 Noviembre 2006	0'01	0'00
25 Noviembre 2006 - 2 Diciembre 2006	0'01	0'00
3-10 Diciembre 2006	0'02	0'00
11-18 Diciembre 2006	0'06	0'00
27-31 Diciembre 2006	0'25	0'00

Por otra parte, aunque VCAP no se calcula para zonas endémicas, lo cierto es que sus valores en la isla de Zanzíbar son no nulos, siendo esta una zona claramente endémica. El mismo análisis se ha realizado con las provincias de Pwani y Morogoro en las que se ha hecho otra de las validaciones del método propuesto, los resultados de VCAP son nuevamente desalentadores ya que para el año 2009 en la provincia de Morogoro, el valor máximo que devuelve el sistema es de 3.4, devolviendo 12 de los valores cercanos a cero. En el año 2010 en la provincia de Pwani los resultados no son mucho mejores, el valor máximo de VCAP fue nuevamente de 3.4, devolviendo 11 valores cercanos a cero.

Como conclusión extraemos que los índices VCAP no son válidos para Tanzania.