

Caracterización Metrológica Integral de un Sistema Portátil de Microondas para la Inhibición del Crecimiento del Parásito de la Malaria desarrollado en Panamá

Solis Betancur, Raúl Fernando

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0003-1043-4294

Mojica, Luis

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0001-5594-9166

Ruiz, Isaac

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0003-2207-2673

Chaw, Kevin

INDICASAT AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

EMAIL: kevinchaw729@gmail.com

Donado, Carlos

INDICASAT AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0002-7537-6550

Spadafora, Carmenza

INDICASAT AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0002-3002-9467

Abstract

The development of innovative technologies to combat parasites like *Plasmodium falciparum* is crucial. One example is the project by INDICASAT and UTP, which aims to use microwave signals to inhibit its growth. But, in any technological development, a metrological approach is essential to control variables and better understand the actual behavior of the systems.

Therefore, CENAMEP developed a metrological verification process for all key elements of the system. The results provided a better understanding of the system's performance.

Keywords: Metrology, verification, microwaves, radiofrequencies, malaria.

Resumen

El desarrollo de tecnologías innovadoras para combatir parásitos como el Plasmodium falciparum es muy importante. Un ejemplo es el proyecto por parte del INDICASAT y la UTP con el cual se busca emplear señales de microondas para inhibir su crecimiento. Pero, en cualquier desarrollo tecnológico, es importante tener una aproximación metrológica que ayude a controlar las variables y conocer mejor el comportamiento real de los sistemas. Por ello el CENAMEP desarrolló un proceso de verificación metrológica sobre todos los elementos claves del sistema. El resultado permitió conocer de mejor manera el comportamiento del sistema.

Palabras claves: Metrología, verificación, microondas, radiofrecuencias, malaria.

1. INTRODUCCIÓN

Inhibir el crecimiento del Plasmodium falciparum, parásito causante de la malaria empleando señales de microondas, ideado por el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá (INDICASAT), es una tecnología innovadora [1], [2]. Pero al trabajar con equipamiento involucrado en la emisión de señales de microondas, es crucial tomar en cuenta el componente metrológico que permite verificar el adecuado comportamiento de los sistemas involucrados, asegurando que cumpla con las funciones para las cuales fue diseñado y ayudar a mitigar posibles problemas al entorno en el que se utiliza. Este componente metrológico es aportado por el Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP) [3] al cual, bajo un trabajo de colaboración entre laboratorios, el INDICASAT ha solicitado la verificación del funcionamiento del dispositivo portátil de bajo costo creado en conjunto con la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), al igual que con los aplicadores de señales y los componentes de trabajo en el sistema.

2. MÉTODO

El desarrollo de este trabajo requirió una serie de mediciones buscando encontrar anomalías, cumplimiento con especificaciones y reproducibilidad metrológica. Los componentes empleados por el laboratorio se muestran en la Figura 1.

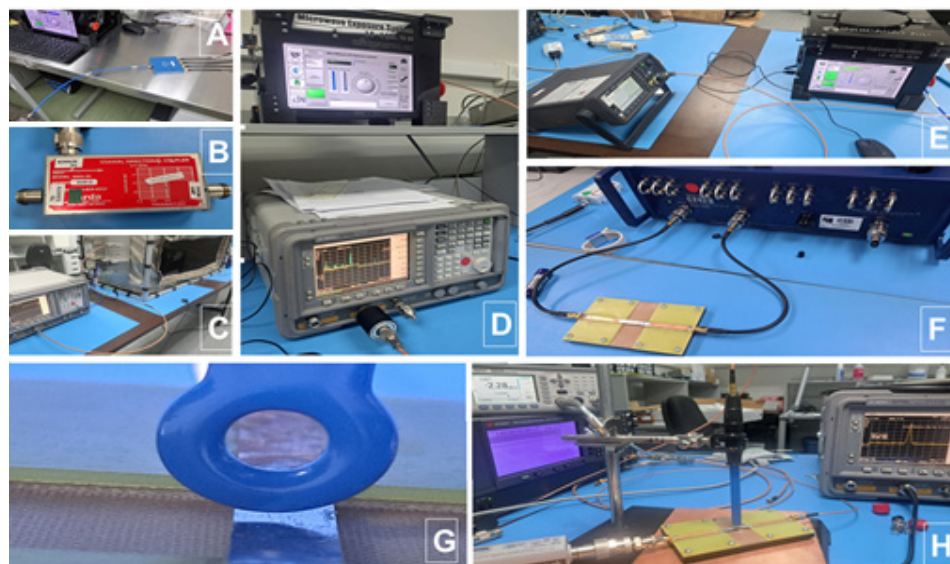


Figura 1. Vista de algunos de los equipamientos involucrados en el desarrollo del ejercicio.

En la Figura 1 se muestra: A) cable principal, divisor de potencia de 4 salidas y sus cables de conexión, B) acoplador direccional empleado para medir el SWR (Standing Wave Ratio) generado, C) configuración para medir emisiones del sistema generador dentro de la tolda apantallada, D) pureza espectral de la señal emitida del generador empleando un Analizador de Espectro (AE), E) medición de la exactitud en frecuencia del sistema generador, F) la configuración para el análisis de parámetros S de una placa dosificadora empleando el Analizador de Redes Vectoriales (ARV), G) empleo de sonda de campo magnético cercano para detectar emisiones sin tocar la cinta de emisión y, H) configuración para medir en las placas emisión, transmisión y distorsión de las señales.

A. Equipamiento involucrado

Para realizar la caracterización metrológica del sistema, se empleó equipamiento en control metrológico (norma internacional ISO/IEC 17025:2017) trazable al Tiempo Universal Coordinado (UTC) y a laboratorios con capacidades de medición reconocidas, para asegurar que los resultados siempre fueran confiables. En la Tabla 1, se muestra el equipamiento empleado para realizar la caracterización.

Tabla 1. Equipamiento de referencia empleado para la caracterización.

Equipamiento	Característica de trabajo
Patrones Atómicos de Tiempo y Generador de desvíos de frecuencia	Realización del UTC(CNMP) que participa de la comparación clave que define el UTC
Contadores de Frecuencia	Disciplinados a UTC(CNMP) con resoluciones de 13 dígitos en 3 GHz
Sintetizadores de señales	Disciplinados a UTC(CNMP) con ajuste de 1 Hz en 26,5 GHz
Medidor de potencia en RF	Calibrados bajo la ISO/IEC 17025:2017 en potencia, eficiencia y SWR
Analizador de espectro	Disciplinado a UTC(CNMP), verificado contra sintetizador de señales disciplinado a UTC(CNMP) y medidor de potencia calibrado
Analizador de Redes Vectoriales	Verificado contra kit de calibración ARV calibrado bajo la ISO/IEC 17025:2017
Sondas de campo cercano Eléctrico y Magnético	Verificado contra analizador de espectro, analizador de redes vectoriales, sintetizador de señales y medidor de potencia
Medidor de condiciones ambientales	Calibrado bajo la ISO/IEC 17025:2017 en temperatura y humedad relativa
Equipamiento auxiliar (cables, tolda apantallada, antenas, atenuadores y divisores de potencia)	Verificado contra analizador de espectro, analizador de redes vectoriales, sintetizador de señales y medidor de potencia

B. Realización de las pruebas

Se realizaron pruebas para determinar características y encontrar fallos: a los componentes auxiliares se verificó la atenuación y su SWR, a los conectores y la estructura física del cable trabajen adecuadamente (no quiebres, fallos o fugas de señales). Se verificó en el sistema de generación de señal la pureza espectral, la exactitud de la potencia suministrada y la frecuencia de trabajo de la señal emitida, se buscó emisiones de fuga de señal del equipo (que puedan generar interferencias a equipos alrededor) y se verificó su comportamiento bajo trabajo continuo sin incidentes en tiempo de trabajo por más de 24 horas encendido y mediante rutinas de trabajo continuas de más de 5 horas.

A los cinco aplicadores se analizó su atenuación y su SWR además de que exista emisión de señales en la frecuencia y potencia aplicada. La metodología del ejercicio se establece en el siguiente orden:

- Verificación metrológica de los equipos de referencia: Se asegura que todas las mediciones realizadas van a ser adecuadas (bajo norma ISO/IEC 17025:2017).
- Caracterización metrológica del sistema portátil de microondas: Se realizan pruebas a los componentes principales y elementos importantes para asegurar que el trabajo

individual y completo del sistema sea acorde a lo esperado:

- Pruebas a los competentes auxiliares: Se analiza el estado de los componentes como cables, puente direccional y divisor de potencia con el objetivo de caracterizar pérdidas o distorsiones de señal y otros tipos de fallas.
- Pruebas al sistema de generación: Se analiza las características funcionales del sistema generador de señales de microondas en búsqueda de emisiones indeseadas o fugas de señales, nivel potencia aplicado sea correspondiente al seleccionado, pureza espectral de la señal de salida, aplicación correcta de rutinas de empleo y que su empleo a largo plazo no cause cambios en la salida.
- Pruebas a los aplicadores: Se analiza el comportamiento de emisión de los aplicadores y su relación con sus especificaciones de uso, sin afectar la forma de la cinta emisora.
- Análisis de datos y emisión de resultados: Se analizan los datos (por ejemplo, corrección de errores, análisis de variabilidades, etc.) para proceder a emitir resultados.

Los procedimientos internos del CENAMEP en conjunto con partes de normativa específica [4] fueron la base del desarrollo del proceso de caracterización metrológica integral de un sistema portátil de microondas para la inhibición del crecimiento del parásito de la malaria, desarrollado por INDICASAT y la UTP.

3. RESULTADOS

La verificación metrológica de los equipos de referencia demostró que todos los equipos cumplen con lo especificado por los fabricantes y por las condiciones locales de control cumpliendo con el Sistema de Calidad del CENAMEP AIP. Con respecto a los resultados de la caracterización metrológica del sistema portátil los resultados mostraron ser satisfactorios. En la Figura 2, se tienen las vistas de los resultados de las pruebas realizadas:

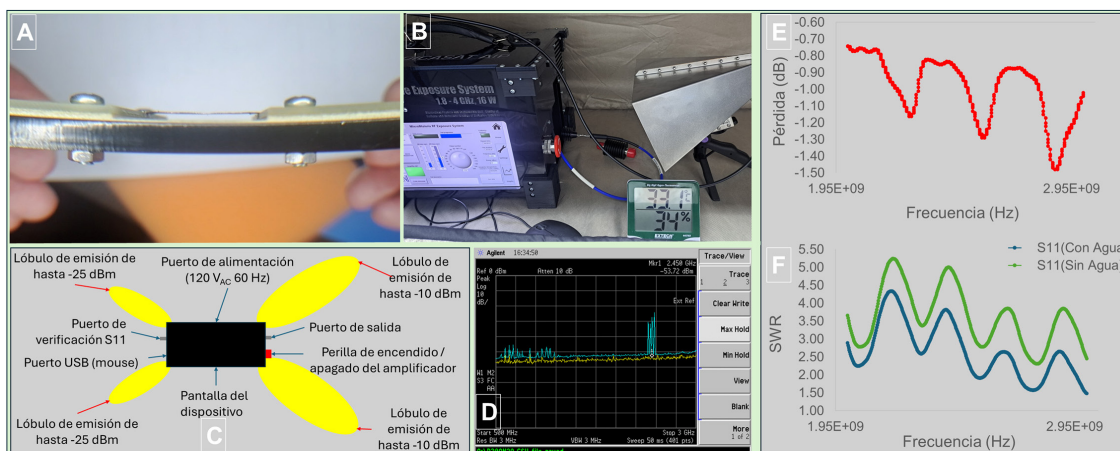


Figura 2. Resultados del proceso de caracterización metrológica del equipo de INDICASAT.

En la Figura 2-A) se aprecia la verificación visual en la que se ve la vista transversal de una placa dosificadora donde se aprecian algunas deformaciones, lo que puede influir en el desempeño de los experimentos (posible cambio de la focalización de la energía de microondas). En la Figura 2-B) se aprecia la vista de la configuración de prueba de rendimiento en trabajos largos (temperatura y emisiones), con el objetivo de verificar si existían anomalías, y que como resultado se dieron que no. En la Figura 2-C) se muestra un esquema rápido de los lóbulos de emisión detectados (salida con terminal con potencia de salida de +39 dBm), los cuales deben ser atendidos como fugas de RF para evitar exposición innecesaria a usuarios del sistema e interferencias a equipamiento al rededor. En la Figura 2-D) Se aprecian algunas señales espurias detectadas en el AE (señales por debajo de 1,5 GHz y señales por encima de 3 GHz) en la prueba de rendimiento en bandas por debajo de la frecuencia de operación. En la Figura 2-E) se tiene el resultado del análisis del comportamiento de la pérdida del cable principal (componente S12 en dB) que conecta la fuente con los aplicadores, mientras que en la Figura 2-F) se tiene el SWR resultante del aplicador grande sin agua en el repositorio (verde) y con agua en el repositorio (azul). En este ejercicio nos ayudó la compañera metróloga Eyleen Espinosa del laboratorio de Volumetría, para lograr reproducibilidad en la aplicación del volumen de agua dentro del aplicador.

Con respecto a los resultados obtenidos para la caracterización del sistema portátil, las pruebas a los competentes auxiliares, al sistema de generación y a los aplicadores, la captura de datos y su análisis dio como resultado:

- Prueba a los equipos auxiliares: en las pruebas a los cables se encontró que solo uno tenía problemas (conector defectuoso) y los demás cables tenían pérdidas consistentes con sus longitudes (con variaciones de $\pm 0,5$ dB). Las pruebas en el divisor de potencia y puente direccional mostró que cumplen con las especificaciones indicadas por los fabricantes y no se encontraron ninguna anomalía en el desempeño de su trabajo (con variaciones de $\pm 0,5$ dB).
- Pruebas al sistema de generación: se encontró que sí entregaba la potencia en la frecuencia requerida (errores menores a 0,4 dB en +39 dB), mantenía una notable estabilidad en su trabajo (repetía el funcionamiento) ejecutando rutinas de trabajo seguido, pero se detectaron emisiones fuera de la frecuencia de la irradiación y la existencia de lóbulos de potencia emitidos fuera del sistema con potencias desde -25 dBm hasta -10 dBm a 50 cm de distancia del sistema.
- Pruebas a los dosificadores: se encontró que emiten señal dentro de lo especificado, responden a las aproximaciones de masa (un cuerpo absorbente) y su SWR cambia con respecto a la puesta de agua en el repositorio de verificación. Pero se observa que algunas cintas de conducción tienen pequeñas deformaciones (posiblemente por poner

y quitar los repositorios de vidrio donde van las muestras) que cambian ligeramente la potencia entregada a lo largo de la zona de aplicación.

4. CONCLUSIONES

Podemos resaltar la importancia de tener un enfoque metrológico en el desarrollo de la Ciencia y Tecnología: se pudo comprobar que los componentes individuales del sistema cumplen con los requisitos básicos de trabajo para lo que fueron diseñados, pero la caracterización permitió conocer que existen ciertas situaciones que deben ser analizadas para ver su impacto en términos de la aplicación del proyecto, como es el caso de las demás señales emitidas (lejanas a la frecuencia principal de operación de 2,45 GHz) que pudiesen causar algún efecto indeseado. Asimismo, al tratarse de un prototipo, se entienden que existan otras anomalías como las emisiones de señales con potencia por encima de -25 dBm, que deberán ser bloqueadas para el diseño final y para asegurar la integridad de equipos y sistemas circundantes, como otros equipamientos biomédicos con respecto al concepto de Compatibilidad y Emisiones Electromagnéticas.

Referencias

- [1] Esteban Rua, Lorena Coronado, Carlos A. Donado Morcillo, Ricardo Correa, Lina Solís, Carmenza Spadafora, Alejandro Von Chong, A low-cost, portable device for the study of the malaria parasite's growth inhibition via microwave exposure, *HardwareX*, Volume 19, 2024, e00540, ISSN 2468-0672, <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00540>
- [2] Nadovich, Christopher & Jemison, W & Stoute, José & Spadafora, Carmenza. (2014). Microwave Exposure System for In Vitro and In Vivo Studies. 10.13140/2.1.2922.7843.
- [3] R. F. Solis and L. M. Mojica, "Implementacion del Laboratorio de Calibración de Alta Frecuencia en el CENAMEP AIP," Simposio Metrologia 2011, Natal Brazil, Jun. 2018, doi: <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.22597.55524>.
- [4] IEC, CISPR 16-4-2:2011: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling - Measurement instrumentation uncertainty, edición 2.2 version consolidada 2018-08, ISBN 978-2-8322-5950-4

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.