

## Disminución del consumo de energía eléctrica de exterminadores de insectos a través de la detección de la frecuencia del sonido del aleteo del zancudo

Juan Diego Benítez<sup>1</sup>, Christopher Antonio Chiroy<sup>1</sup>, Luis Furlán<sup>2</sup> y José Tomás Prieto<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería; <sup>2</sup>Centro de Estudios en Informática Aplicada, <sup>3</sup>Centro de Estudios en Salud, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala, <sup>4</sup>CRG, École Polytechnique, Francia  
ben14124@uvg.edu.gt

**RESUMEN:** El uso de exterminadores eléctricos de insectos voladores genera un alto consumo de energía cuando se usan por períodos extendidos de tiempo. La detección de insectos voladores por medio de frecuencias emitidas por el sonido del aleteo podría reducir dicho consumo al activar a los exterminadores únicamente en presencia de un zancudo. Se diseñó e implementó un sistema electrónico integrado de detección de zancudos. Se fabricó el dispositivo con una Raspberry Pi 2 y un micrófono que tomó como base la frecuencia fundamental y el segundo armónico del sonido emitido por el aleteo de los zancudos. Para evaluar su eficacia, se posicionó el dispositivo en un lugar estratégico dentro de un cuarto con el menor ruido posible. El dispositivo estuvo activo 8 horas en la noche durante 19 días. Se registró en promedio 7 posibles zancudos y 1 confirmado, por noche. Se estima que con este dispositivo sería posible ahorrar 345 Watts de energía por noche, lo que representaría un ahorro de al menos 140.00 quetzales al año por dispositivo.

**PALABRAS CLAVE:** detección de zancudos, ahorro de energía, análisis de frecuencias.

### Electric energy consumption decrease by the detection of mosquitoes flying sound frequency

**ABSTRACT:** The use of bug zappers for long time lapses requires high-energy consumption. The detection of flying insects by the frequencies emitted by their wings while flying allows the reduction of energy consumption by activating the bug zappers

only when there is presence of a mosquito. The detection of mosquitoes was done with a built device that included a Raspberry Pi 2 processor and a microphone. The mosquito's flying sound frequency and its second harmonic were used as the base reference for the microphone. This device was placed strategically within a room, which didn't have much noise, to capture the desired sound without difficulty. It was active during 8 hours nightly, for 19 days. On average 7 possible mosquitoes and 1 confirmed mosquito were registered per night. It is estimated that 345 Watts of energy consumption could reduce per night yielding a yearly savings of approximately GTQ 140, per device.

**KEYWORDS:** mosquito detection, energy saving, frequency analysis.

### Introducción

El creciente uso de dispositivos con sensores integrados abre hoy perspectivas interesantes de detección de insectos voladores que en general se basa en el sonido del aleteo emitido a frecuencias en rangos específicos (Chen, et al, 2014). La frecuencia fundamental del aleteo de un zancudo se encuentra entre los 400Hz y 600Hz, siendo la frecuencia de las hembras menor a la de los machos (Lang, 2009; Warren, et al, 2009), con una amplitud sonora promedio de 75dB a 1cm de proximidad del instrumento de medición (Arthur, et al, 2014).

El análisis de frecuencias se realiza mediante la transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés). La FFT es un

algoritmo computacional que facilita el análisis y filtrado de señales, transformando la señal del dominio del tiempo al dominio de frecuencias (Cochran, et al, 1967). Con esta metodología es posible determinar si en una señal existe alguna frecuencia específica, que puede resultar útil para detectar la frecuencia del sonido emitido por el aleteo de los zancudos. Si se encendiera el exterminador únicamente cuando se detecta un insecto volador, se podría generar un ahorro de energía.

La idea ha sido explorada con anterioridad (Raman, et al, 2007). En dicho artículo se describe la construcción de un prototipo que grabó 10 horas de actividad; posteriormente se hicieron rutinas de detección de mosquitos por medio de tonos de aleteo. El prototipo, sin embargo, no procesaba las señales en tiempo real, por lo que solo se podrían obtener conteo de mosquitos de forma retrospectiva (Raj, et al, 2007).

El hábitat común de los zancudos se caracteriza por temperaturas cálidas, ambientes húmedos y altas precipitaciones (UCAR, 2011). En Guatemala estas condiciones se presentan de forma ideal en las regiones Suroriental, formada por Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa; y Nororiental, comprendida por Izabal, Zacapa, El Progreso y Chiquimula (De la Cruz, 1976). Debido a que los zancudos pueden ser portadores de enfermedades como chinkungunya, zika, malaria y dengue (Robert, 2009), la salud de las personas, primordialmente de las áreas rurales, se ve afectada. En Guatemala, durante el 2016, se registraron 3 mil 149 casos de zika, 5 mil 125 de chinkungunya, 8 mil 844 de dengue y 3,851 de malaria (Centro Nacional de Epidemiología, 2017).

En respuesta a la afluencia de zancudos, es común que los habitantes de las regiones guatemaltecas altamente expuestas usen exterminadores eléctricos de insectos, que atraen a los insectos voladores por medio de luz ultravioleta (PestWest, 2015). Estos tienen mayor efectividad que los ahuyentadores por sonido, que no presentan efecto alguno en los zancudos (Rutledge y Rey, 2004) y, a largo plazo, resultan más económicos que los repelentes convencionales. Estos suelen permanecer encendidos la mayor parte del día, por lo que se genera un consumo excesivo de energía ya que generalmente están conformados por una o dos luces de 15-25 Watts y una red con un potencial mayor a 2000 Volts (PestWest, 2015).

Este trabajo busca mejorar la implementación de Raman et al. 2007 y hacer una implementación de un dispositivo capaz de detectar en tiempo real la presencia de zancudos con el objetivo de reducir el uso de energía eléctrica y automatizar el uso inteligente de exterminadores eléctricos.

## Materiales y métodos

El desarrollo del proyecto tuvo 4 fases: construcción y pruebas del dispositivo, algoritmo de detección de zancudos, detección y registro de actividad de zancudos. Las primeras dos fases se realizaron durante los meses de Febrero y Marzo; las siguientes fases se realizaron en los meses de Abril y Mayo.

## A. Construcción del dispositivo

Para la construcción del dispositivo se utilizaron un micrófono electrónico con conexión USB marca Logitech con frecuencia de respuesta entre 100Hz y 16KHz (Logitech, 2001), un teclado y mouse con conexión USB, una pantalla y un procesador Raspberry Pi 2 programado en Python. Este realizaba el análisis del espectro de frecuencias mediante la transformada rápida de Fourier, en tiempo real, del sonido captado por el micrófono.

El código de Python mencionado anteriormente utilizó las librerías que se listan a continuación, junto con su utilidad para el funcionamiento adecuado del dispositivo:

1. **Pyaudio:** Grabación de audio proveniente de puerto USB.
  - a. *Alsa Audio:* Complemento necesario para habilitar los puertos USB como entrada de audio.
2. **Wave:** Interpretación de archivos de audio en formato .wav grabados.
3. **Scipy:** Análisis del espectro de frecuencias de los audios aplicando transformada rápida de Fourier.
4. **Pigpio:** Control de los puertos GPIO, que permiten conectar el Raspberry Pi con un circuito eléctrico externo.
5. **Time:** Manejo de temporizadores del Raspberry Pi. Estos temporizadores permiten, por ejemplo, pausar la ejecución del código.
6. **Datetime:** Acceso a fecha y hora del Raspberry Pi.

## B. Pruebas del dispositivo: frecuencia fundamental y segundo armónico

Se realizaron tres pruebas preliminares con el fin de encontrar las condiciones óptimas para llevar a cabo el experimento, cada una en ambiente distinto: cuarto con ruido presente, jardín y cuarto con silencio casi total, ubicando el dispositivo en lugares concurridos por los zancudos.

En un recipiente aislado de ruido, Figura 1, se obtuvieron cinco distintas muestras del sonido de aleteo de zancudos. Para grabarlo se insertó un micrófono en el recipiente y se estimuló al zancudo para que este volara dentro del mismo. Posteriormente, con código realizado en Python se realizó el análisis FFT. El análisis de cada audio mostró una convergencia a una frecuencia de  $430 \pm 20$  Hz y un segundo armónico en  $860 \pm 40$  Hz como se presenta en la Figura 2.

## C. Algoritmo de detección de zancudos

Fue ideado en base a la frecuencia fundamental y el segundo armónico, mencionados anteriormente. Se realizaron distintas pruebas con distintos tiempos de muestreo, hasta obtener una respuesta casi inmediata tomando en cuenta el tiempo de procesamiento y análisis del audio grabado. Esto se obtuvo con grabaciones de 0.5 segundos, las cuales tomaban un tiempo de procesamiento de aproximadamente 0.35 segundos.



Figura 1. Recipiente para muestras de sonido.

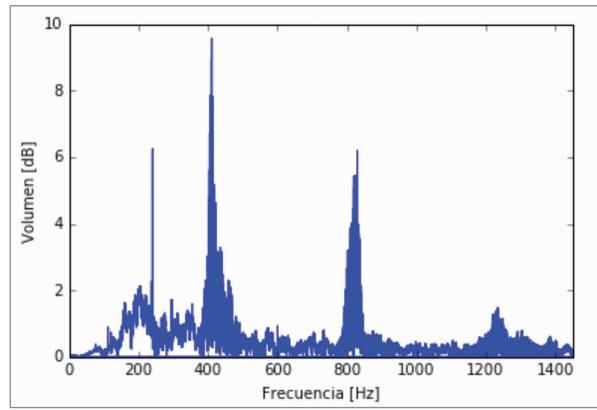


Figura 2. Espectro de frecuencias.

El siguiente diagrama de flujo (Figura 3) explica el algoritmo utilizado en el dispositivo. Es un proceso iterativo que se realiza en aproximadamente un segundo.

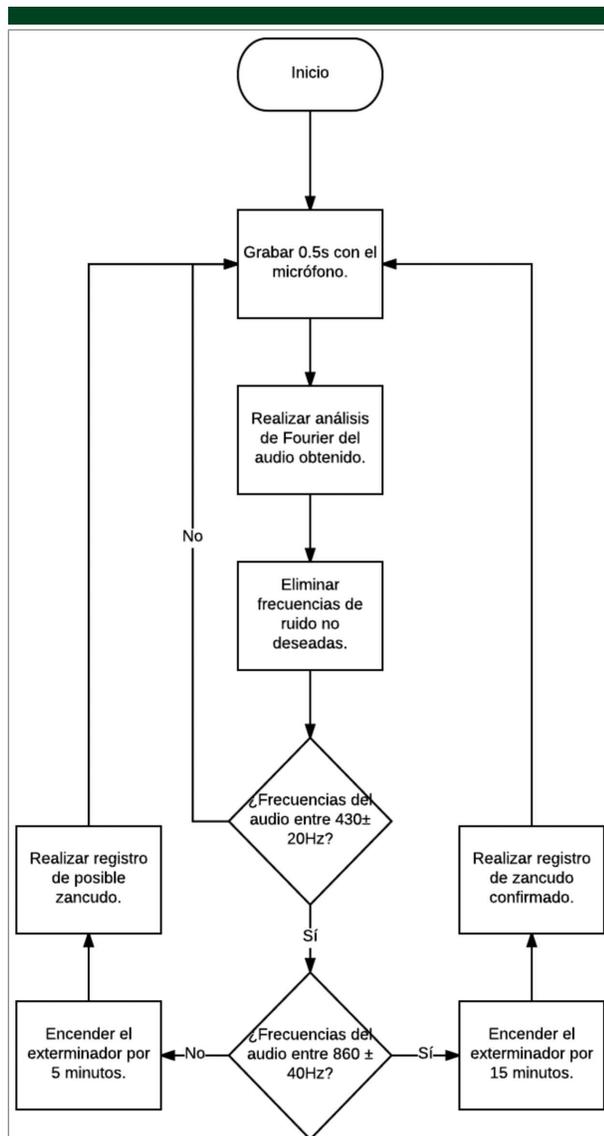


Figura 3. Algoritmo del funcionamiento del dispositivo.

#### D. Detección y registro de actividad de zancudos

Para la detección se evaluaron dos comparaciones: con el primero y segundo armónico del sonido emitido por el aleteo. Si había coincidencia con el primero y segundo, la presencia del zancudo era 100% confirmada, mientras que, si solo había coincidencia con el primero, la presencia se consideraba posible.

Se programó el dispositivo para que cuando se detectara una frecuencia similar a la de un zancudo, el dispositivo emitiera una alerta (Luz LED) y activara el exterminador de insectos un tiempo pertinente. Si la presencia no estaba 100% confirmada, el exterminador se encendía durante 5 minutos; si la presencia sí estaba confirmada, se encendía el exterminador por 15 minutos. También, el dispositivo hizo un registro de la fecha y hora en que se detectó actividad, en formato Año-Mes-Día Hora:Minutos:Segundos. Además, un investigador se quedó presente en el cuarto de pruebas por dos horas para confirmar la presencia de zancudos.

#### Resultados y discusión

En el primer y segundo ambiente únicamente se registró actividad de posibles zancudos, actividad generada por la presencia de sonidos en el ambiente con una frecuencia similar a la frecuencia fundamental del aleteo de zancudos, como los emitidos por motores polifásicos utilizados en electrodomésticos (Gieras, et. al, 2006). Debido a los falsos positivos, estos ambientes no resultan ser óptimos para las pruebas. Cuando el zancudo vuela alejado del dispositivo, la amplitud del sonido del aleteo es demasiado baja comparada con el sonido ambiental, lo cual no le permite al dispositivo registrar la presencia de zancudos de manera eficiente. Las condiciones del tercer ambiente aumentan la eficiencia del dispositivo, permitiendo capturar el sonido sin interferencias y registrando actividad únicamente al estar en presencia de un zancudo.

Debido al bajo volumen del aleteo de los zancudos, como se puede observar en la figura 2, el posicionamiento del micrófono fue de gran importancia. Se colocó debajo del marco de una ventana de 1.2 x 0.4 metros que daba al exterior para que, cuando un zancudo entrara, pasará cerca del micrófono y fuera



Figura 4. Zancudos presentes en ambiente sin ruido.

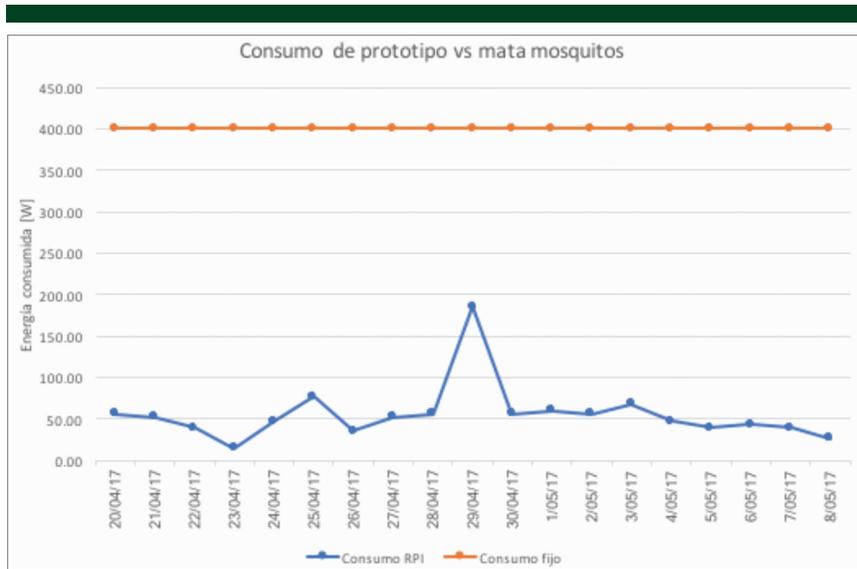


Figura 5. Consumo de energía (estimado) con prototipo vs sin prototipo.

fácil detectarlo, para evitar el ingreso del mismo a la habitación. Como los zancudos se ven atraídos por la presencia de un humano (Bernier, et al, 2000), también se colocó el micrófono en la cabecera de una cama mientras alguien dormía en ella. Las pruebas en estas dos posiciones mostraron resultados positivos similares.

Se pudo notar una mayor presencia de mosquitos en las noches con humedades mayores al 72%, temperaturas entre los 18 y 24 °C y sin lluvia presente. Estos resultados se esperaban ya que a humedades altas los zancudos viven y se dispersan más (Promprou, et. al, 2005). Mientras que en días con humedades menores al 65% se detectó la mitad de zancudos durante 8 horas de prueba. Además, en las noches donde hubo presencia de lluvia se registraron datos atípicos, ya que no hubo una concordancia con la cantidad de mosquitos en esas noches. Por

ejemplo, en el día 30/04/2017 se detectaron 2 zancudos en el cuarto con silencio, mientras que en el día 02/05/2017 no hubo detección alguna, días en los que hubo lluvia durante la noche. En la Figura 4 se pueden observar los resultados de 8 horas de mediciones durante 19 noches. En total se registraron 134 posibles zancudos y 24 zancudos confirmados.

Durante 8 horas de prueba, por 19 días se registró en promedio 7 posibles zancudos y 1 zancudo confirmado por noche. Un exterminador eléctrico promedio consume 50 Watts de energía por hora ya que generalmente contienen dos luces de 20-25W (PestWest, 2015). Si se encendiera el exterminador eléctrico por 5 minutos cada vez que se detecte un posible zancudo, y por 15 minutos si es un zancudo confirmado, habría un consumo total de 55 Watts. Si se dejara encendido durante las 8 horas el consumo sería de 400 Watts, representando esto un ahorro de

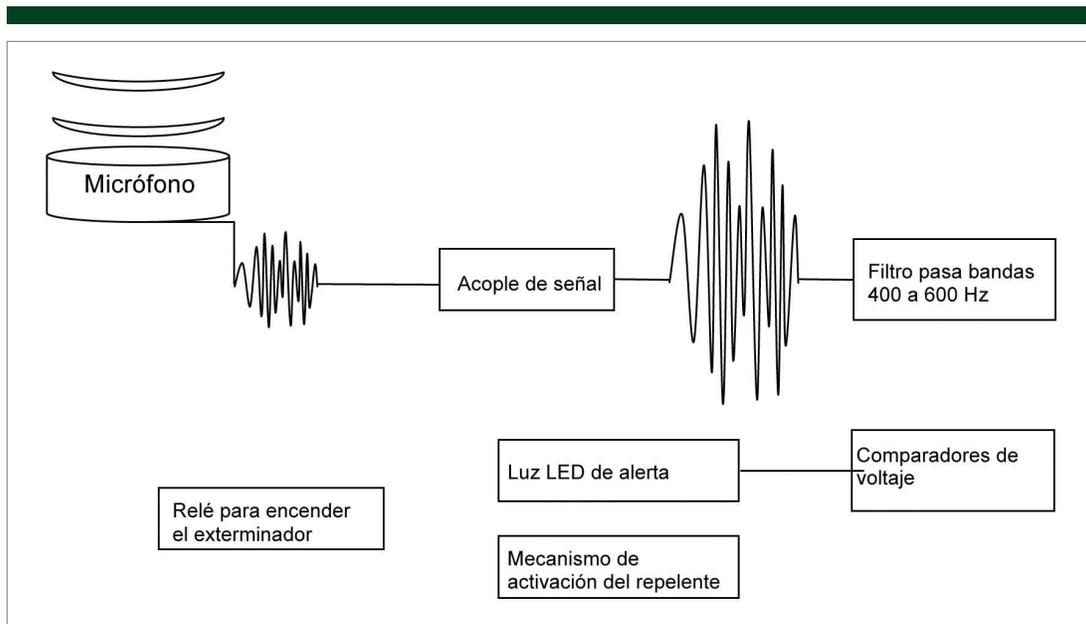


Figura 6. Diagrama de prototipo con componentes electrónicos.

345 Watts. Si se utilizaran durante todo el año, habría un ahorro de 125.93kW. El precio al 08/05/2017 del kW/h en Guatemala oscila entre los valores de Q. 1.1001 y Q. 1.772 según distribuidor del servicio (CNEE, 2017), por lo que al año habría un ahorro de Q. 138.46 a Q. 223.03. Los tiempos mencionados fueron escogidos ya que se estima que el zancudo se verá atraído por el aparato durante esos intervalos.

En las figuras 4 y 5 se puede observar que en el día 29/04/2017 hubo una cantidad alta de posibles zancudos, lo que podría generar un consumo de energía de 50 Watts, lo que es mucho mayor al de cualquier otro día. Sin embargo, este consumo sigue siendo tres veces menor a comparación de que si se deja el exterminador encendido durante toda la noche. Por lo que el dispositivo, aún en el peor de los casos, presenta buenos resultados respecto al ahorro de electricidad.

A lo largo del proyecto se encontraron varias limitaciones del dispositivo. Una de las limitaciones fue el volumen necesario para obtener datos que se puedan procesar en el audio. Si se tuviera un micrófono más sensible la detección hubiera sido posible en ambientes ruidosos sin necesidad de un posicionamiento tan estratégico. Además, necesitar un teclado, un mouse y una pantalla es una limitación de espacio, uso y portabilidad, ya que son indispensables para la inicialización del Raspberry Pi. Sin embargo, se podría implementar la ejecución del programa al encenderse sin necesidad de dichos elementos.

Otro prototipo que se podría realizar sería mediante el uso de componentes electrónicos en lugar de componentes programables. Se podrían utilizar amplificadores operacionales, capacitores y resistencias, junto con una fuente de alimentación conformada por un transformador, reguladores de voltaje,

resistencias y capacitores, y un micrófono de pastilla electret. Esto reduciría los costos ya que solo el Raspberry Pi 2 tiene un precio de aproximadamente Q. 320 (Amazon, 2017), a esto habría que añadirle el micrófono, un mouse, teclado y cable para conectarlo a una pantalla con un costo aproximado de Q. 125 para poder utilizarla. Las partes de este prototipo, a grandes rasgos, serían las que se muestran en la Figura 6.

## Conclusiones

- El consumo de energía estimado muestra que la automatización del exterminador de insectos por medio del dispositivo sí genera un ahorro de energía significativo, aún cuando se detectan más de 30 posibles zancudos.
- Al interconectar el dispositivo con un exterminador de insectos de 50W se pueden ahorrar más de 345 Watts por noche, lo que representaría un ahorro de al menos Q. 138 al año.
- Los resultados muestran que el dispositivo sí es capaz de distinguir entre posibles zancudos y zancudos confirmados, por lo que también puede funcionar para detectar otros insectos voladores bajo las condiciones descritas.

## Bibliografía

- Amazon (2017) *Raspberry Pi 2 Model B Desktop (Quad Core CPU 900 MHz, 1 GB RAM, Linux)*. Recuperado de amazon.com el 07/05/2017.
- Arthur, B., Emr, K., Wytenbach, R., Hoy, R. (2014) *Mosquito (Aedes aegypti) flight tones: Frequency, Harmonicity, spherical spreading, and phase relationships* The Journal of the Acoustical Society of America 135 (2): 933-941.

- Bernier, U., Kline D., Bernard, D., Schreck, C., Yost, R. (2000) *Analysis of human skin emanations by gas chromatography/mass spectrometry. 2. Identification of volatile compounds that are candidate attractants for the yellow fever mosquito (Aedes aegypti)* Analytical Chemistry 72 (4): 747-56.
- Centro Nacional de Epidemiología (2017) *Situación de Semanas Epidemiológicas 2016* Recuperado de: <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/>
- Chen, Y., Why, A., Batista, G., Mafra-Neto, A., Keogh, E. (2014) *Flying Insect Detection and Classification with Inexpensive Sensors* Journal of Visualized Experiments (92): 52111.
- Cochran, W., Cooley, J., Favon, D., Helms, H., Kaenel, R., Lang, W., Maling, G., Nelson, D., Rader, C., Welch, P. (1967) *What is the fast Fourier transform?* Institute of Electrical and Electronics Engineers 55 (10): 1664-1674.
- CNEE: Comisión nacional de energía eléctrica (2017) *Ajuste Tarifario para Trimestre Mayo a Julio 2017*. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt> el 07/05/2017.
- De la Cruz, R. (1976) *Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala Basadas en el Sistema Holdridge* Universidad San Carlos de Guatemala, Cobán, Guatemala.
- Gieras, J.F., Wang, C., Lai, J.C. (2006) *Noise of polyphase electric motors*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Lang, S. (2009) *Mosquitoes create harmonic love song before mating* Cornell Chronicle.
- Logitech (2001) *Logitech® USB Desktop Microphone*. Recuperado de: <http://ec1.images-amazon.com/media/i3d/01/A/man-migrate/MANUAL000050184.pdf>
- PestWest Electronics Limited (2015) *El control de insectos voladores*. Recuperado de: [pestwest.com](http://pestwest.com)
- Promprou, S., Jaroensutasinee, M., Jaroensutasinee, K. (2005) *Climatic Factors Affecting Dengue Haemorrhagic Fever Incidence in Southern Thailand* Dengue Bulletin 29: 41-48.
- Raman, D.R., Gerhardt, R., Wilkerson, J. (2007) *Detecting Insect Flight Sounds in the Field: Implication for Acoustical Counting of Mosquitoes* Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 50 (4): 1481-1485.
- Robert, D. (2009) *Insect Bioacoustics: Mosquitoes Make an Effort to Listen to Each Other* Current Biology 19 (11): 446-449.
- Rutledge, R., Rey, J. (2004) *Repelentes contra mosquitos*. University of Florida: IFAS Extension. ENY671S
- Warren, B., Gibson, G., Russell, I. (2009) *Sex Recognition through Midflight Mating Duets in Culex Mosquitoes Is Mediated by Acoustic Distortion* Current Biology 19 (6): 485-491.
- UCAR: University Corporation for Atmospheric Research (2011) *Climate Change and Vector-Borne Disease*. Recuperado el 23 de junio del 2017 de: <https://scied.ucar.edu/longcontent/climate-change-and-vector-borne-disease>