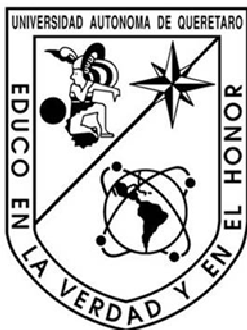


**Ing. VÍCTOR LAURO PÉREZ GARCÍA**

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO BASADO EN SONIDO ULTRASÓNICO  
QUE AFECTE EL COMPORTAMIENTO DE LA MOSQUITA BLANCA  
(*Trialeurodes vaporariorum*).**

2013



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO BASADO EN SONIDO ULTRASÓNICO  
QUE AFECTE EL COMPORTAMIENTO DE LA MOSQUITA BLANCA  
(*Trialeurodes vaporariorum*).**

**TESIS**

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
LINEA TERMINAL BIOSISTEMAS**

**PRESENTA**

**Ing. VÍCTOR LAURO PÉREZ GARCÍA**

**C.U., QUERÉTARO, QRO. ENERO 2013**



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias

**Desarrollo de un dispositivo basado en sonido ultrasónico que afecte el comportamiento de la mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*).**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias, línea terminal Biosistemas

**Presenta:**

Ing. Víctor Lauro Pérez García

**Dirigido por:**

M. en C. Adán Mercado Luna

**SINODALES**


M. en C. Adán Mercado Luna  
Presidente

Dr. Enrique Rico García  
Secretario

Dr. Ramón Gerardo Guevara González  
Vocal

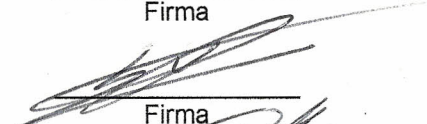
M. en C. Juan Fernando García Trejo  
Suplente

Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez  
Suplente

  
Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad



Firma



Firma




Firma



Firma



Firma

  
Dr. Rineo Torres Pacheco  
Director de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue desarrollar un dispositivo electrónico basado en frecuencias ultrasónicas para afectar el comportamiento de la mosquita blanca. Se utilizó un par de recintos entomológicos con características de 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m con cuatro lados cubiertos de malla fina y dos con vidrio, en los que se liberó a 60 adultos de mosquita blanca en cada uno de estos. Dos ensayos se llevaron a cabo consecutivamente. En el primer ensayo se emitió una frecuencia de 21 KHz, y para el segundo 25 KHz. En los dos ensayos se usó un recinto como testigo (sin emisión de ultrasonido). Una planta de pepino (*Cucumis sativus L.*) con 5 hojas verdaderas bien desarrolladas, con 20 cm de altura, y libre de pesticidas, fue colocada al centro de cada recinto para alimentar a cada mosquita blanca. En cada ensayo se tomaron 20 video clips con una duración de 60 minutos cada uno, durante 120 horas, para observar el comportamiento de la mosquita blanca. Los resultados obtenidos fue inhibición de vuelos triviales para el tratamiento de 21KHz. En el ensayo de 25 KHz se observó mayor movilidad en el patrón de vuelos triviales, con respecto al testigo. Esta herramienta puede ser una opción ecológica y sustentable para el manejo de la mosquita blanca.

**Palabras clave:** *Recintos entomológicos, Vuelos triviales, Ensayos, Video clips.*

## SUMMARY

The objective of this study was to develop an electronic device based on ultrasonic frequencies to alter whitefly behavior. It was used inside a couple of entomologic enclosures with characteristics of 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m four sides covered in fine mesh and two sides with glass where 60 adult male whitefly were liberated inside each one. Two tests were conducted consecutively. The first test emitted a frequency of 21 KHz and the second one 25 KHz. On both tests an enclosure was used as control group (no ultrasonic emission). The plant used was cucumber (*Cucumis sativus L.*) with 5 well developed real leaves, 20 cm height and free of pesticides, it was placed at the center of each enclosure to be fed to whitefly. On each test 20 video clips were recorded with 60 minutes duration during 120 hours to observe whitefly behavior. Obtained results indicated an inhibition of trivial flight in the treatment with 21 KHz. At the test using 25 KHz it was observed a wider mobility on trivial flight patterns compared to control group. This tool can be used as an ecologic and sustainable option to whitefly control.

**Key words:** *Entomologic enclosures, Trivial flight, Test, Video clips.*



## **DEDICATORIAS**

***A Dios*** por prestarme la vida para realizar mis estudios de maestría

***A mis padres*** Lauro Pérez Velázquez y María Guadalupe García Zamudio

***A mi novia*** Olga María Estrada Pacheco

## **AGRADECIMIENTOS**

***Al M. en C. Adán Mercado Luna** por su apoyo moral durante mis estudios de la maestría, por sus sabios consejos que siempre me llenaron de fortaleza y sobre todo por su gran esfuerzo en la realización de este trabajo.*

***Al Dr. Gonzalo Macías Bobadilla** por su contribución y sugerencias en este trabajo.*

***A mis amigos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas** por su colaboración en el campo de trabajo de esta investigación.*

***A mis compañeros** de maestría que me acompañaron en este proceso.*

***Y a ti Olga,** por tu fortaleza, paciencia y comprensión durante mis estudios de maestría.*

**Gracias**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hipótesis y objetivo .....	2
<b>2 REVISIÓN LITERARIA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Mosquita blanca (Hemiptera: Aleyrodidae).....	3
2.1.1 Biología y ecología .....	3
2.1.2 Taxonomía.....	6
2.1.2.1 <i>Identificación de Trialeurodes vaporariorum y Bemisia tabaci</i> .....	7
2.1.2.1.1 <i>Identificación en adulto</i> .....	7
2.1.2.1.2 <i>Identificación en pupa</i> .....	8
2.1.3 Origen y distribución .....	9
2.1.4 Especialización de aleyrodidae .....	9
2.1.5 Hospedantes.....	11
2.1.6 Daños en cultivos .....	12
2.1.6.1 <i>Daños directos</i> .....	12

2.1.6.2	<i>Daños indirectos</i> .....	13
2.1.7	Hábitos de alimentación de la mosquita blanca.....	13
2.1.8	Movilidad de Insectos plaga .....	14
2.1.8.1	<i>Movilidad de la mosquita blanca</i> .....	16
2.2	Física del ultrasonido .....	17
2.2.1	Ondas mecánicas.....	17
2.2.2	Características de las ondas mecánicas .....	17
2.2.3	Atenuación.....	19
2.3	Clasificación y aplicación del ultrasonido .....	19
2.4	Transductores ultrasónicos .....	21
2.4.1	Eficiencia del transductor, ancho de banda y frecuencia.....	21
2.5	Microcontroladores.....	22
2.5.1	Características de los microcontroladores.....	22
2.5.2	Microcontrolador PIC16F84A .....	23
2.6	Amplificador de audio LM380N .....	25
2.6.1	El LM380N como amplificador ultrasónico.....	26
2.7	Convertidor Digital/Analógico DAC0808.....	27
2.8	Multiplexor 74HC4053.....	28
2.9	Conversión de una señal digital/analógica .....	28
2.10	Modulación en Amplitud (AM) .....	29
2.11	Antecedentes .....	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>35</b>
3.1	Área experimental .....	35

3.2	Desarrollo del dispositivo.....	37
3.2.1	Implementación en tablilla protoboard.....	37
3.2.2	Implementación en tarjetas y prototipo.....	38
3.3	Construcción de recintos entomológicos.....	40
3.4	Colecta de pupas de mosquita blanca e identificación de la especie.....	40
3.5	Preparación de la plántula y trasplante .....	41
3.6	Desarrollo del experimento en invernadero.....	42
3.6.1	Material Biológico .....	43
3.6.2	Emisión de ultrasonido y monitoreo del comportamiento .....	45
3.7	Sistematización de la información .....	49
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>50</b>
4.1	Resultados del primer ensayo.....	50
4.2	Resultados del segundo ensayo .....	54
4.3	Conclusiones.....	56
4.4	Sugerencias .....	56
	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>57</b>
	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
2.5.2 Características del microcontrolador PIC16F84A.....	24
2.6 Características eléctricas del LM380N .....	26
2.7 Características del DAC0808 .....	27
3.6.2.A Horario de grabación de cada video clip en el primer ensayo.....	48
3.6.2.B Horario de grabación de cada video clip en el segundo ensayo .....	48
4.A Vuelos triviales durante el primer ensayo (tratamiento control) .....	51
4.B Vuelos triviales durante el primer ensayo (tratamiento 21 KHz) .....	51
4.C Vuelos triviales durante el segundo ensayo (tratamiento control).....	52
4.D Vuelos triviales durante el segundo ensayo (tratamiento 25 KHz).....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
2.1.1.A Ciclo Biológico de la mosquita blanca.....	4
2.1.1.B Características del huevo de la mosquita blanca.....	5
2.1.2.1.1 Posición en reposo de <i>T. vaporariorum</i> y <i>B. tabaci</i> para su identificación .....	7
2.1.2.1.2 Características físicas de la pupa de <i>T. vaporariorum</i> y <i>B. tabaci</i> .....	8
2.1.6.2 Daños ocasionados por la mosquita blanca en la planta, a) daños en la hoja, b) daños en el fruto.....	13
2.2.2 Características de una onda mecánica .....	18
2.3 Clasificación y aplicación del ultrasonido .....	20
2.5.2 Descripción de las terminales del microcontrolador PIC16F84A.....	24
2.6 Descripción de las terminales del LM380N .....	25
2.6.1 Amplificador ultrasónico con el LM380N .....	26
2.7 Descripción de las terminales del DAC0808 .....	27
2.8 Descripción de las terminales del 74HC4053.....	28
2.9 Diagrama esquemático de un convertidor digital/analógico .....	29
2.10.A Diagrama esquemático para Modulación en Amplitud (AM) .....	30
2.10.B Generación de una señal en Amplitud Modulada (AM).....	30

2.11.A Diagrama a bloques del sistema electrónico desarrollado por Paz et al., 2008 .....	31
2.11.B Recintos de plexiglás del experimento de Huang et al., 2003.....	33
2.11.C Recintos de plexiglás del experimento de Huang y Subramanyam, 2006	34
3.1.A Área experimental (Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala) .....	35
3.1.B Diagrama a bloques de la metodología general del estudio .....	36
3.2.1.A Implementación del dispositivo en tablilla protoboard.....	37
3.2.1.B Señales generadas por el dispositivo ultrasónico, a) portadora, b) moduladora, c) modulada.....	38
3.2.2.A Tarjeta de Modulación en Amplitud.....	38
3.2.2.B Tarjeta de amplificación de señales ultrasónicas.....	39
3.2.2.C Diferentes vistas del dispositivo.....	39
3.3 Recintos entomológicos utilizados durante en el experimento.....	40
3.4 Pupa de <i>T. vaporariorum</i> colectada para su identificación.....	41
3.5 Plántula de pepino germinada para el experimento .....	42
3.6 Esquemático del invernadero utilizado durante el experimento .....	43
3.6.1.A Monitoreo de poblaciones de mosquita blanca adentro del invernadero experimental.....	44
3.6.1.B Colecta de mosquita blanca adentro del invernadero experimental.....	44



3.6.2.A Diagrama a bloques del dispositivos utilizado en la emisión de ultrasonido durante los ensayo. ....	45
3.6.2.B Orientación y posición del súper tweeter durante los ensayos .....	46
3.6.2.C Posición de las videocámaras afuera de los recintos entomológicos durante los ensayos .....	47
4.1.A Número de vuelos triviales observados en cada video clip durante el primer ensayo.....	50
4.1.B Número de vuelos triviales observados en cada evento durante el primer ensayo.....	53
4.2.A Número de vuelos triviales observados en cada video clip durante el segundo ensayo .....	54
4.2.B Número de vuelos triviales observados en cada evento durante el segundo ensayo.....	55

## 1 INTRODUCCIÓN

La familia Aleyrodidae está compuesta de pequeños insectos el cual tienen el nombre común de “mosquita blanca”. Las alas y el cuerpo de los adultos están cubiertos de cera blanca y fina (Hodges y Evans, 2005). Los daños ocasionados por la mosquita blanca es la producción de melaza que da por resultado el crecimiento del moho negro, y la transmisión de virus los cuales pueden afectar gravemente la planta (Byrne and Bellows, 1991). En los últimos años se ha convertido en uno de los grupos de insecto plaga económicamente importantes encontrados en los cultivos hortícolas y plantas ornamentales (Suh y Hodges, 2008).

Existen varias especies de mosquita blanca afectando plantas cultivadas, arvenses y ornamentales. Algunas son polífagas como *Bemisia tabaci* (Gennadius), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), y *Bemisia argentifolli*, por lo que tienen diferentes patrones de disposición espacial en diferentes plantas hospedantes, por lo tanto, se deben elaborar planes de muestreo considerando estas diferencias. En general, la mosquita blanca presenta disposiciones espaciales agregadas que se deben a sus características biológicas comunes, como la diferencia entre un estado de adulto altamente móvil en comparación con los estados inmaduros relativamente sésiles o poco móviles, hábitos de oviposición y comportamiento migratorio (Nava, 1998).

El manejo de la mosquita blanca es difícil una vez que la población se establece en el cultivo. Manejo Integrado de Plagas (MIP), promueve el uso de medidas como control cultural y biológico, y aplicaciones de insecticidas para reducir su población. Sin embargo, la resistencia a los insecticidas y el impacto negativo de éstos en los programas de manejo, han creado un interés en la investigación, descubrimiento y desarrollo de nuevas alternativas de control. Los umbrales económicos (UE), junto con el monitoreo de plagas y los modelos de predicción, son la base para implementar programas de MIP, particularmente para

el manejo eficiente de insecticidas. En la mayoría de los casos no existen umbrales económicos, sino umbrales de acción o umbrales nominales desarrollados con base en la experiencia de los productores y técnicos (Baddi *et al.*, 2000).

Hasta el advenimiento de las actividades humanas que generan ruido, la principal fuente biogénica de sonido en la tierra fueron los insectos, y éste sigue siendo el caso para algunas partes del mundo durante el día. Los insectos se comunican por sonidos por medio de mecanismos especializados para ampliar, ajustar y emitir señales acústicas tanto a través del aire y de sustratos, así como los sistemas sensoriales para detectarlas. La comunicación es el intercambio de mensajes entre dos organismos vivos. Lleva implícita la satisfacción de una necesidad biológica (alimentarse, protegerse y buscar pareja) (Pollak, 2010).

Tecnología acústica ha sido aplicada por algunos años en el estudio de la comunicación de insectos para orientar su comportamiento en polillas, mosquitos, grillos de campo, cucarachas y termitas (Mankin, 2012). La posibilidad de descubrir métodos acústicos en la aplicación del manejo de insectos plaga es muy atractiva. Hasta hoy, hay poca literatura publicada sobre estudios acústicos en el comportamiento de la mosquita blanca. El objetivo de este trabajo es desarrollar un dispositivo electrónico basado en sonido ultrasónico para evaluar su efecto sobre el comportamiento en la mosquita blanca.

## **1.1 Hipótesis y objetivo**

**Hipótesis:** Con la emisión de frecuencias ultrasónicas sobre la mosquita blanca, es posible afectar su comportamiento.

**Objetivo general:** Desarrollar un dispositivo electrónico basado en frecuencias ultrasónicas que afecte el comportamiento de la mosquita blanca.

## 2 REVISIÓN LITERARIA

### 2.1 Mosquita blanca (Hemiptera: Aleyrodidae)

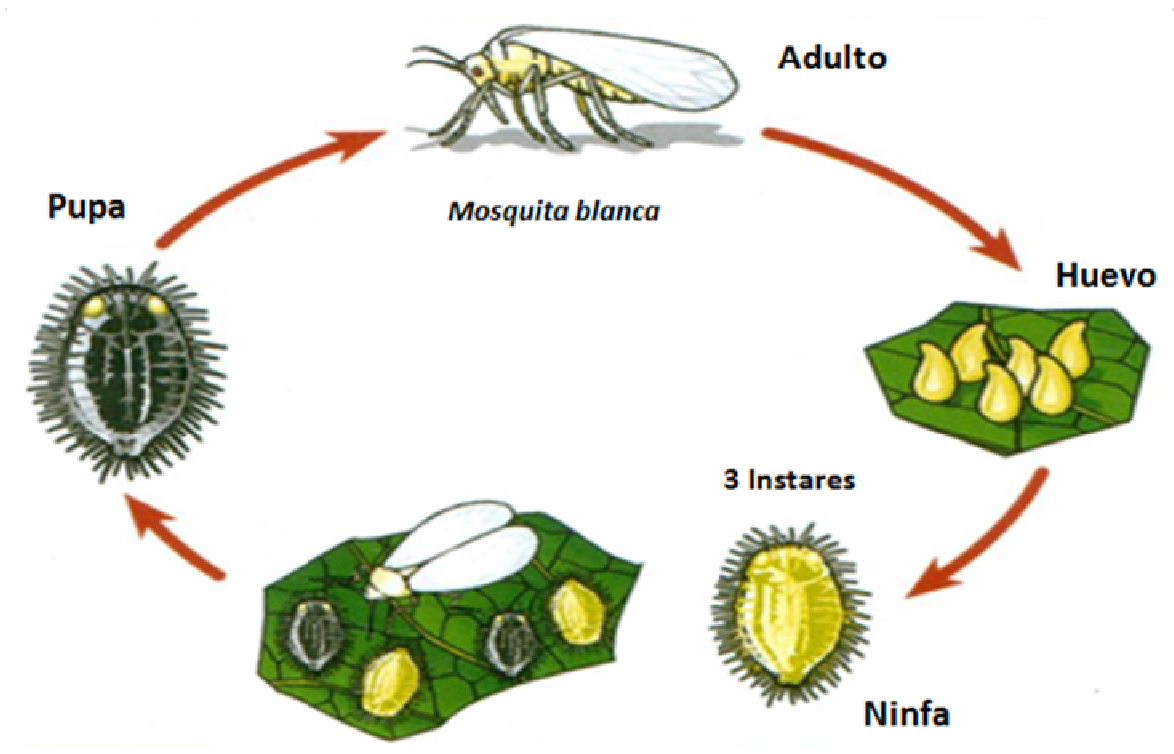
Reconocida por los investigadores y agricultores a finales del siglo XIX, la mosquita blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) ha sido uno de los problemas fitosanitarios en la agricultura mundial desde 1970 en cultivos bajo invernaderos (Aguilar-Medel *et al.*, 2007). En los últimos años ésta se ha convertido en la principal plaga agrícola a escala mundial, principalmente en áreas tropicales y subtropicales. La investigación realizada hasta hoy refleja cambios no solamente en su impacto económico, sino también valiosos adelantos en aspectos biológicos teóricos y metodologías científicas (Ortega-Arenas, 2006).

Durante los últimos años, *B. tabaci* y *T. vaporariorum* se han convertido en las especies más significativas en cultivos a cielo abierto y bajo invernadero (Luo y Tong, 2011). Actualmente se han descubierto razas o biotipos de *B. tabaci*, de los cuales el más prominente (denominado B, e incluso descrito como una nueva especie, *B. argentifolli*) ha mostrado mayor adaptabilidad que el biotipo conocido, y lo ha desplazado de regiones extensas. La capacidad de adaptabilidad del biotipo B y su mayor importancia económica, es acompañada por un aumento en el número de publicaciones que no sólo se restringen a la taxonomía y comportamiento, sino al estudio sobre el combate, compatibilidad de tácticas, relaciones insecto-planta, fisiología, biología molecular, enemigos naturales e interacciones tritróficas.

#### 2.1.1 Biología y ecología

La mosquita blanca es un insecto chupador que se localiza en el envés de las hojas de sus hospedantes. Presenta metamorfosis incompleta, es decir, el ciclo biológico incluye una etapa de huevo, cuatro estadios ninfales y el adulto. Al último estadio ninfal usualmente se le denomina pupa (Butler, 1982; Byrne *et al.*, 1990;

Gill, 1990). El ciclo biológico de la mosquita blanca se muestra en la Figura 2.1.1.A.



**Figura 2.1.1.A. Ciclo Biológico de la mosquita blanca.**

Fuente: [www.bayer.com](http://www.bayer.com)

La hembra oviposita en el envés de la hoja y coloca los huevos en posición vertical. Estos tienen forma de ovalo y en su parte basal llevan un pedicelo corto que les sirve para anclarse durante la fertilización (Butler, 1982).

El número de huevos varía de 48 a 500 según la especie, las condiciones ambientales y la planta hospedante, de los cuales dos terceras partes serán hembras. Los huevos recién depositados son de color verde pálido, y después adquieren una coloración castaño oscuro. Miden de 0.08 a 0.18 mm y tienen el corion liso y brillante (Butler, 1982; Byrner *et al.*, 1990; Gill, 1990). Las características del huevo se observan en la Figura 2.1.1.B.



**Figura 2.1.1.B. Características del huevo de la mosquita blanca.**

(Fuente: Smith, 2009)

Cuando termina el desarrollo del huevo, éste se rompe por la parte apical, por donde sale o emerge una ninfa en forma de escama. La ninfa se mueve por un tiempo corto para seleccionar un punto de alimentación, en donde se queda debido a que pierde sus patas. Después de que la ninfa comienza alimentarse, pasa por otras tres etapas o instares ninfales de desarrollo, y en cada etapa aumenta de tamaño hasta transformarse en adulto. En el último estadio ninfal los ojos de color rojo del adulto y el cuerpo de color amarillo son evidentes (Butler, 1982; Byrne *et al.*, 1990; Gill, 1990).

Diez horas después de la emergencia, los machos adultos están aptos para iniciar el cortejo. Éstos copulan varias veces y tienen menor longevidad que las hembras. El ciclo de vida de huevo a adulto puede completarse en dos o tres semanas en climas cálidos, pero requieren hasta dos meses en climas fríos (Nava-Camberos *et al.*, 2001). Las temperaturas altas disminuyen el tiempo del ciclo y las bajas lo aumentan. Las tasas de desarrollo de la mosquita blanca se incrementan cuando la temperatura aumenta hasta 30 °C y luego decrecen a partir de 32°C. *T.vaporariorum* es afectada por temperaturas extremas (>35°C) y

humedad alta, y su desarrollo se detiene a 8 °C. La temperatura umbral mínima para el desarrollo de huevo a adulto para varias especies varía de 10 a 13.2 °C, y se requiere de 250 a 315 unidades calor (UC) para completar su desarrollo (Nava-Camberos *et al.*, 2001). Presentan de 11 a 15 generaciones al año con reproducción predominante sexual, aunque pueden reproducirse por partenogénesis. La mosquita blanca tienen reproducción arrenotoca, es decir, los huevos sin fertilizar dan origen a machos (Ortega-Arenas, 2006). La proporción de sexos cambia en el curso del año comúnmente es cercana a 1, pero a veces se sesga hacia uno de los sexos (Byrne y Bellows, 1991).

La mosquita blanca alcanza poblaciones altas, en especial durante épocas secas, las cuales no pueden controlarse ni siquiera con la aplicación frecuente de insecticidas. Esta característica se asocia con la gran capacidad que tienen para adaptarse a climas desérticos donde las temperaturas del verano exceden los 40 °C (May, 1985; Prange, 1996). En respuesta al estrés térmico la mosquita blanca sintetiza proteínas de choque térmico como el sorbitol (alcohol polihídrico) (Wolfe *et al.*, 1998). En individuos sometidos a estrés térmico, a menudo los niveles de sorbitol aumentan de 15 a 17 veces y la síntesis de sorbitol se realiza por la conversión de fructuosa vía una cetosa reductasa (Wolfe *et al.*, 1998). Otras opciones para lograr ajustarse al calor incluyen la permanencia en el envés de la hoja, lo cual en condiciones secas podría evaporar agua y reducir la temperatura ambiente cercana a la hoja (May, 1985; Prange, 1996; Gerling, 2002).

### **2.1.2 Taxonomía**

En el ámbito mundial se han identificado 1200 especies agrupadas en 126 géneros. En México se tiene registro de 67 especies incluidas en 27 géneros, aunque sólo *B. tabaci*, *B. argentifolii* y *T. vaporariorum* son reconocidas como especies de importancia económica.

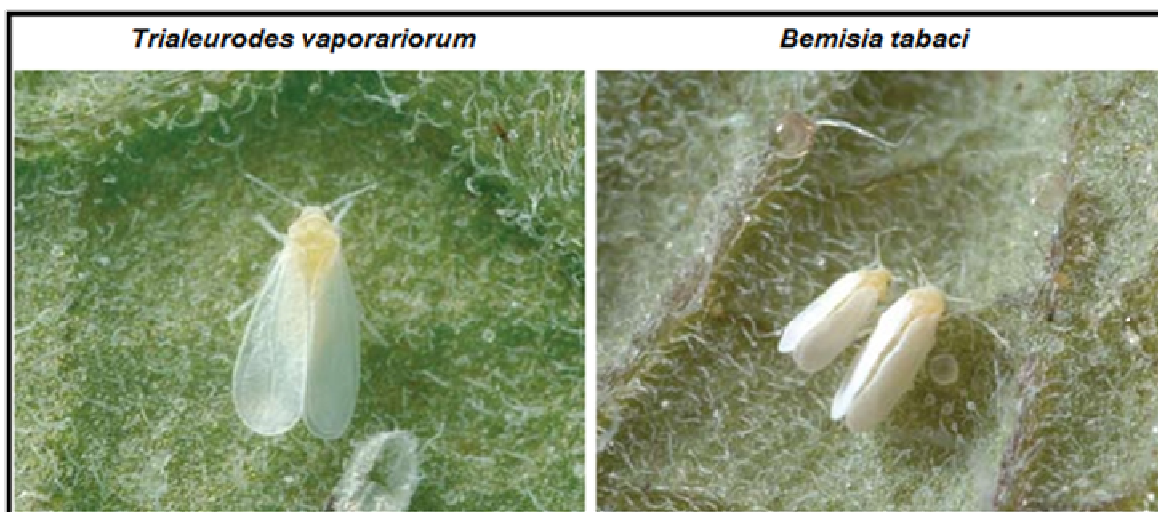
Los adultos de Aleyrodidae son usados para diferenciar las subfamilias, comparando la venación alar y la estructura de los tarsos. La clasificación genérica y específica se basa en la estructura del cuarto instar ninfal (pupa) o de su exuvia.

### **2.1.2.1 Identificación de *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci***

Diferentes características físicas en la etapa de pupa y adulto distinguen a *T. vaporariorum* de *B. tabaci* (Smith, 2009).

#### **2.1.2.1.1 Identificación en adulto**

Las alas de *T. vaporariorum* están en posición horizontal sobre su cuerpo por lo que tiene una forma triangular cuando el insecto está en reposo y se ve desde arriba, mientras que para *B. tabaci* sus alas están en posición paralela y se ven en forma de tejado sobre su cuerpo (Figura 2.1.2.1.1). Aunque ambas especies son pequeñas *T. vaporariorum* tiende a ser más larga (Smith, 2009).



**Figura 2.1.2.1.1. Posición en reposo de *T. vaporariorum* y *B. tabaci* para su identificación.**

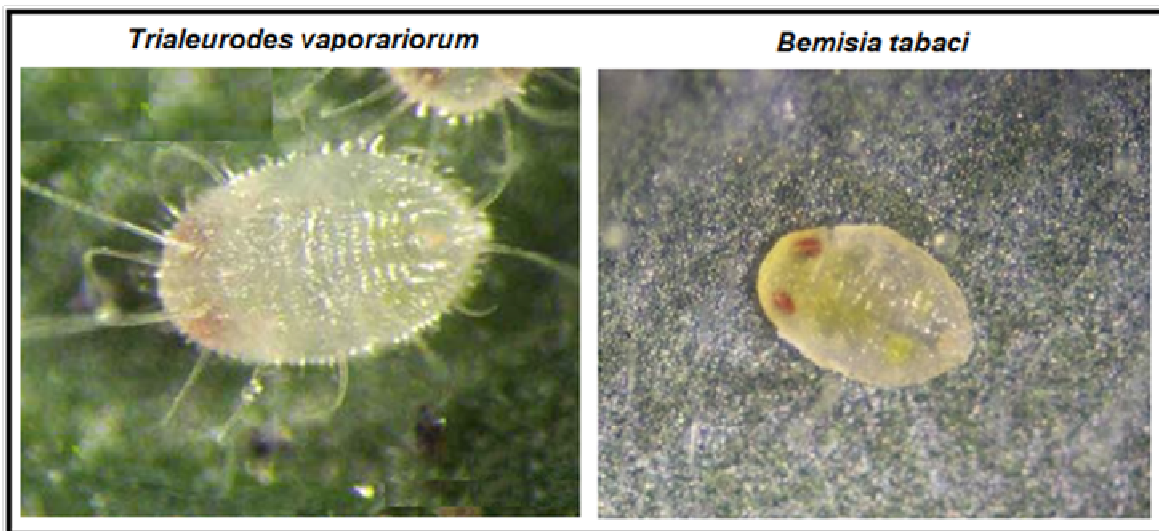
(Modificado de Smith, 2009)



El mejor medio para examinar los adultos e identificar la especie es atraparlos con trampas amarillas pegajosas, pero a veces este método no es conveniente porque algunas características del insecto no se observan adecuadamente (Sanderson, datos sin publicar).

### **2.1.2.1.2 Identificación en pupa**

El cuarto instar (pupa) de la mosquita blanca es la mejor etapa para identificar la especie, en la Figura 2.1.2.1.2 se observa la diferencia entre la pupa de *T. vaporariorum* y *B. tabaci*. La pupa de *T. vaporariorum* es elíptica en forma de pastilla (Velasco-Silva, datos sin publicar) y casi transparente, el borde de ésta tiene hilos de cera largos y erectos (Smith, 2009), mientras que *B. tabaci* la forma de su pupa es ovalada, plana (Velasco-Silva, datos sin publicar) y trasparente o color amarillo, su borde no tiene hilos de cera (Smith, 2009).



**Figura 2.1.2.1.2. Características físicas de la pupa de *T. vaporariorum* y *B. tabaci*.**

Fuente: (Velasco-Silva, datos sin publicar)

### **2.1.3 Origen y distribución**

La familia Aleyrodidae tiene dos subfamilias: Aleurodicinae y Aleyrodinae. La primera tiene especies endémicas en América del sur y Centroamérica. Esta subfamilia se considera primitiva, ya que presenta venación alar completa, en cambio la subfamilia Aleyrodinae carece de la vena media (Mound, 1963; Byrne y Bellows, 1991). La primera subfamilia se caracteriza porque la pupa presenta sobre la superficie dorsal poros compuestos especializados en la producción de ceras, y la línula presenta cuatro setas normalmente grandes, aunque a veces son reducidas. En la subfamilia Aleyrodinae, la pupa no presenta poros compuestos subdorsales, aunque en ocasiones presentan cinco pares de poros simples uniformemente separados, y la línula tiene forma variable, aunque por lo general pequeña, en forma de lengua y sin las cuatro setas. En esta subfamilia se incluyen la mayoría de las especies de importancia económica (Martín, 1987).

La mosquita blanca pertenece a un grupo de distribución mundial en donde la mayoría de las especies corresponden a la parte intertropical. Mound y Halsey (1978) consideran nueve regiones zoogeográficas de distribución de la mosquita blanca (Palearctica, Etiópica, Madagascar, Oriental, Australia-Asia, Pacífico, Neártica y Neotropical). La subfamilia Aleurodicinae corresponde en su totalidad a la región Neotropical (15 de los 18 géneros y 84 de las 94 especies se ubican en esta zona).

### **2.1.4 Especialización de aleyrodidae**

Las principales formas de especialización de los animales, incluyendo los aleiródidos, son alopátrica, simpátrica y parapátrica (Mary y Ashlock, 1991).

La mosquita blanca comenzó a evolucionar con el florecimiento de las plantas a mediados del Cretácico hace 120 a 140 millones de años, y la morfología básica de este insecto prácticamente ha variado durante los últimos 80 millones de años (Czosnek *et al.*, 2001).

La mosquita blanca *T. vaporariorum* tiene una distribución mundial y su centro de origen es el sudoeste de los Estados Unidos de América, y está relacionada estrechamente a *T. ricini* originaria y restringida al hemisferio oriental, por lo que esta última se originó de *T. vaporariorum* antes de la formación del Océano Atlántico (Mound 1984).

De Barro *et al.* (2000) señalan que el amplio ámbito, tanto geográfico como de plantas hospedantes, puede conducir al surgimiento de deficiencias alopátricas. Por ejemplo, hay varios biotipos B de *B. tabaci* en España que se desarrollaron en condiciones aisladas, en relación con el biotipo A u otros biotipos que son propios de la región mediterránea. El desarrollo de razas simpáticas de *B. tabaci* asociadas con hospedantes específicos fue informado por Legg (1996), quién notó que los individuos presentes en algodón y camote no colonizan o sobreviven en yuca, sin embargo, los adultos emergieron en algodón y retuvieron la habilidad de colonizar la yuca, lo cual confirma que esta descripción tiene una base genética.

Los factores genéticos contribuyen a fomentar la especie de mosquita blanca porque las poblaciones ampliamente distribuidas contienen subgrupos aislados, conducentes a la segregación. La naturaleza de poblaciones de este insecto blanca aumenta en niveles altos y después disminuye a pocos individuos, debido a la ausencia de hospedantes adecuados, clima severo o tratamientos con insecticidas, sugieren un mecanismo de ciclo de erupción-colisión (Carson, 1968), por tanto, la genética origina un cuello de botella poblacional que varia la estructura genética de la población y permitir la selección natural de actuar sobre las nuevas composiciones genómicas. El mecanismo arrenotóquico que determina el sexo favorece la rápida evolución, debido a que los genes recesivos dañinos son eliminados rápidamente de la población en los machos haploides (Price, 1996).

### **2.1.5 Hospedantes**

La mosquita blanca tiene hábitos polípagos, es decir que se alimenta o se desarrolla de un gran número de especies vegetales cultivadas y silvestres. Por lo tanto, su oportunidad de encontrar un hospedero dónde concluir su ciclo biológico y dar continuidad a su especie es muy alta. Atacan a más de 500 especies de plantas hospedantes de 74 familias, aunque prefieren cultivos como frijol, chile, algodón, calabaza, sandía y tomate (Mound y Halsey, 1978) donde han causado pérdidas hasta del 100 % del cultivo (Aguilar-Medel *et al.*, 2007). La mayoría de especies de la mosquita blanca se presentan en plantas dicotiledóneas, y relativamente pocas especies en familias monocotiledóneas como Palmae, poaceae (Graminae) y Snilacaceae (Mound y Halsey, 1978).

La mosquita blanca, como todos los insectos cuyos estados inmaduros son sésiles, están sujetas para elegir las especies de plantas más adecuadas para alimentarse y ovipositar (van Lenteren y Noldus, 1990). El proceso que sigue la mosquita blanca para elegir la planta es a través de estímulos visuales, gustativos y olfatorios (Bentz y Larew, 1992; van Lenteren y Noldus, 1990; Gerling, 2002).

La oviposición ocurre antes de la ingestión de savia y probablemente sucede cuando los estiletes han traspasado la epidermis o alcanzado las células del mesófilo. La elección correcta de la hospedante durante la oviposición es de vida o muerte para las hembras y su progenie. Las moscas blancas pueden detectar e empobrecimiento en la calidad nutritiva de la planta hospedante, y elegir cambiar su ruta metabólica o simplemente moverse hacia plantas más vigorosas (Bentz y Larew, 1992; van Lenteren y Noldus, 1990; Isaacs y Byrne, 1998; Gerling, 2002).

Cada especie vegetal moviliza tipos específicos de azúcares en el floema. Las plantas de algodón movilizan sacarosa, mientras que las cucurbitáceas movilizan azúcares que contienen galactosa, como rafinosa o estaquitosa (Salvucci *et al.*, 1997). Puesto que la mosquita blanca se alimenta del floema,

debe desdoblar estos azúcares para utilizarlos, así como para descartar el exceso, transformándolos en otros oligosacáridos como la trehalosa (Gerling, 2002). Cuando hay migraciones desde calabazas a melones (que usan rafinosa y estaquitosa) a algodón (que usan sacarosa), el insecto también debe cambiar su ruta metabólica, utilizando diferentes enzimas para desdoblar los azúcares (Salvucci *et al.*, 1997).

### **2.1.6 Daños en cultivos**

Ruíz-Sánchez (2009), señala que los daños que se ocasionan, comienzan cuando la mosquita blanca se hospeda en el envés de la hoja y comienza a nutrirse deteriorando el crecimiento de la misma.

#### **2.1.6.1 Daños directos**

Los daños directos por la mosquita blanca se producen por la succión de la savia de la planta, principalmente aminoácidos y azúcares de transporte. En este proceso se inyectan toxinas a través de la saliva lo que ocasiona el debilitamiento de la planta y a veces manchas cloróticas. En ataques intensos se producen síntomas de deshidratación, detención y disminución del crecimiento y pueden llegar a morir cuando la población del insecto es muy alta.

*B. argentifolii* se considera un caso especial, ya que se ha encontrado que extrae una cantidad de savia cuatro a cinco veces mayor que la que consume *B. tabaci*. Los síntomas que presentan las plantas está asociada a la hoja plateada en crucíferas y cucurbitáceas, maduración irregular del fruto del tomate, tallos blandos en coliflor, brócoli y noche buena, entre otros.

El daño más importante de la mosquita blanca es cuando actúa como vector de virus al alimentarse de plantas enfermas y luego desplazarse a plantas sanas. Los síntomas de infecciones causadas varían de acuerdo con el virus y la cepa, la edad de la planta al momento de la infección y las condiciones

ambientales. Estos insectos son capaces de transmitir más de 40 agentes que causan enfermedades, ya que se caracterizan por inducir amarillamientos severos, moteados, mosaicos cloróticos, achaparramiento, rizado, deformación de las hojas, aborto en flores, y deformaciones en el fruto (Rivas, 1994).

#### **2.1.6.2 Daños indirectos**

Los daños indirectos se producen por la secreción de mielecilla (producto del metabolismo del insecto) la cual propicia el desarrollo del hongo conocido como “fumagina” (zitter, 2004). El hongo fumagina provoca que la fotosíntesis de la planta disminuya, y la penetración de agroquímicos en las hojas se dificulte (Jones *et al.*, 2000). Los daños indirectos provocados por la mosquita blanca en hojas y frutos se observa en la Figura 2.1.6.2.



**Figura 2.1.6.2. Daños ocasionados por la mosquita blanca en la planta, a) daños en la hoja, b) daños en el fruto.**

(Fuente: Smith, 2009)

#### **2.1.7 Hábitos de alimentación de la mosquita blanca**

Los fertilizantes de Nitrógeno, especialmente los amoniacales, frecuentemente se mencionan como causa de los efectos negativos en los cultivos. Estos efectos se relacionan con la sensibilidad de la planta a los insectos plaga (Ortega-Arenas, 2006).

Isaacs y Byrne (1998) y Gerling (2002) descubrieron que la mosquita blanca puede detectar el empobrecimiento de la calidad nutritiva de la planta hospedante, y que ésta cambia su ruta metabólica o simplemente se mueve hacia plantas más vigorosas.

Bentz y Larew (1992) describen que los insectos chupadores como la mosquita blanca, áfidos, trips y chicharritas seleccionan a la planta por su contenido de Nitrógeno en las hojas, como otros insectos fitófagos.

En estudios de laboratorio, para conocer el efecto del contenido de Nitrógeno en hojas de cebolla, edad de la hoja y consistencia de la misma (penetrabilidad) en la fecundidad de *Aleyrodes brassicae*, Iheagwam (1981) encontró que ésta fue directamente proporcional al contenido de Nitrógeno en la hoja. La edad de la hoja tuvo un gran efecto en la fecundidad, ya que en hojas jóvenes la mosquita blanca oviposó más huevos que en hojas viejas.

### **2.1.8 Movilidad de Insectos plaga**

Al formular los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) ha sido ignorada la importancia de la dispersión en la dinámica de las poblaciones de insectos. Los estudios sobre la dispersión de los insectos plagas sólo se han enfocado principalmente en la migración a grandes distancias y altitudes de polillas y langostas. Todos los casos de predicción de dispersiones revisados por Pedgley (1993) involucran migración de insectos a distancias considerables. La migración a corta distancia ha sido un poco ignorada. Algunos piensan que la dispersión a gran distancia, la cual por conveniencia se define como mayor a 5 Km, puede ser rara (Davis, 1980; Loxdale *et al.* 1993), y se debe hacer mayor énfasis en la dispersión a corta distancia. En la biología y agronomía la migración a corta distancia es importante como la de larga distancia.

De acuerdo con Dingle (1996), las características importantes de migración son:

- Persistencia, es decir, la actividad del insecto es tenaz de modo que lleva al migrante más allá de su hábitat original a uno nuevo donde obtiene recursos que previamente no estaban disponibles.
- La dispersión es dirigida, es decir, hay una direccionalidad en la dispersión y un mínimo de giros y de vueltas.
- La dispersión no es distraída, es decir, el insecto ignora pistas vegetativas (pistas de recursos que promueven el crecimiento y el mantenimiento) y claves para otras pistas como la luz del cielo que son usadas para actividades como reproducción y migración.

El vuelo que no tenga un comportamiento migratorio se denomina "vuelo trivial" y usualmente está asociado con vuelos de corta duración entre hospederos. Insectos plagas de los cultivos que exhiben este comportamiento son atraídos hacia longitudes de onda de luz en los colores amarillo y verde pero no lo son por la luz ultravioleta. Los vuelos triviales son comunes a corta distancia, dentro y ligeramente arriba del dosel del cultivo.

Dispersión es un término que incluye los vuelos migratorios y triviales (los insectos se pueden dispersar por cualesquiera de los comportamientos o por locomoción al azar). La dispersión la logran las poblaciones, no los individuos (Southwood, 1981).

El desplazamiento en relación con el vuelo migratorio depende de corrientes de viento a grandes alturas, las cuales son aprovechadas por el insecto para colonizar campos lejanos (Byrne y von Bretzel 1987) hasta a 7 km desde su punto de origen (Cohen y Ben Joseph 1986) y temprano por la mañana (Byrne y Blackmer 1996). En cambio, los vuelos cortos (triviales) son continuos durante el día (Blackmer y Byrne 1993).



### **2.1.8.1 Movilidad de la mosquita blanca**

La información acerca del movimiento del vector de enfermedades virales es importante para entender su epidemiología. Se sabe poco acerca del patrón diario del vuelo en Aleyrodidae y el efecto de las variables ambientales sobre esta actividad. La mosquita blanca se considera como un insecto que vuela muy poco debido a sus características de sus alas y la frecuencia de aleteo (Salas, 2003). Las poblaciones de mosquita blanca siempre se localizan en el envés de las hojas y por lo general están quietas sin moverse. Los adultos son los que vuelan y lo hacen al interrumpirlos o cuando tienen necesidad de buscar alimento nuevo y de calidad (plantas jóvenes) (Ortiz-Catón, 2010).

Salas (2003) describe que hay dos categorías principales de vuelo para la mosquita blanca:

- Vuelo a corta distancia (trivial) dentro y ligeramente arriba del dosel de la planta, asociado con un comportamiento vegetativo como la búsqueda de pareja para la copula, alimentación y sitios de ovoposición.
- Vuelo migratorio a una mayor distancia, que ocurre cuando los adultos dejan el cultivo y son transportados por corrientes de vientos.

El movimiento de los adultos de un lugar a otro en busca de alimento, se realiza por la mañana de 9:00 a 11:00 Hrs y por la tarde antes de que el sol se oculte (Ortiz-Catón, 2010). Byrne y von Bretzel (1987) señalan que la actividad del vuelo de la mosquita blanca ocurre durante el comienzo de la mañana y a mediodía, presentando picos, mientras que Bellows et al. (1988) reportan que ocurre al amanecer y al atardecer.

Blackmer y Byrne (1993) examinaron cómo la edad y la calidad de los hospederos de la mosquita blanca afectaban la actividad de vuelo. En su investigación observaron que la tendencia a despegar, su orientación fototáctica y la duración del vuelo, variaron con la edad de este insecto. Los vuelos de larga

duración tuvieron lugar cuando la edad fue de 3 y 5 días. Seis días después de la emergencia hubo poca actividad de vuelo porque los músculos y las mitocondrias del tórax ya han comenzado a deteriorarse (Blackmer et al., 1995). La calidad del hospedero también influyó sobre el comportamiento del vuelo. Las mosquitas blancas criadas en plantas senescentes exhibieron una mayor cantidad de despegues e iniciaron vuelos fototácticos más largos que individuos criados en plantas vegetativas.

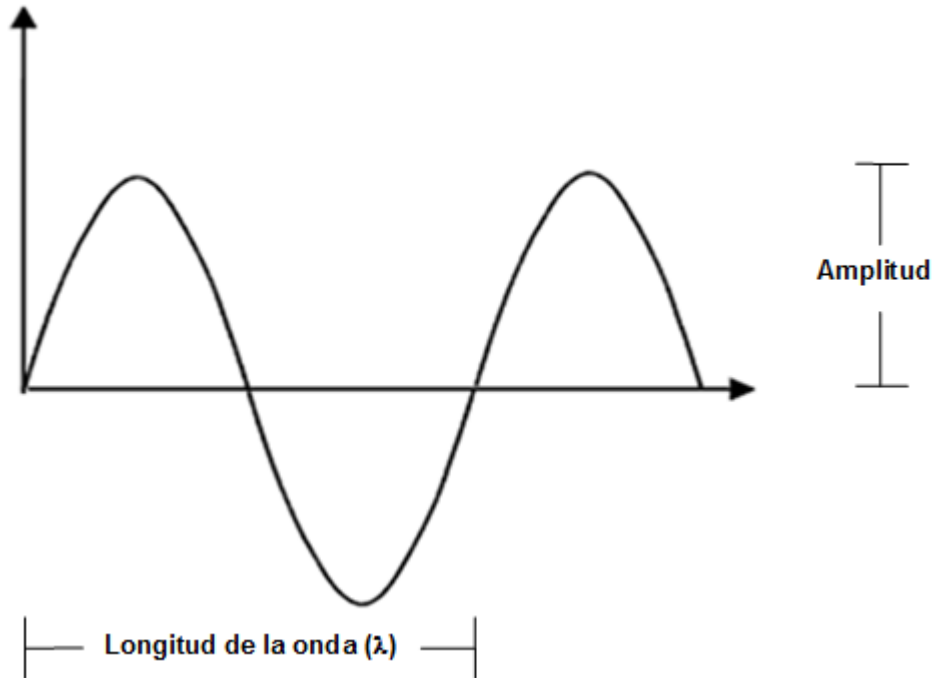
## **2.2 Física del ultrasonido**

### **2.2.1 Ondas mecánicas**

Una onda es una perturbación que se propaga en un medio material o incluso en el vacío. El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua o en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas y corresponden a compresiones, deformaciones, y perturbaciones del medio donde se propagan. El sonido y el ultrasonido son ondas de la misma naturaleza, la diferencia entre éstas es el número de oscilaciones o vibraciones que sufren las partículas del medio durante su propagación (López-Lina, 2009).

### **2.2.2 Características de las ondas mecánicas**

Existen características que son comunes en todas las ondas, cualquiera que sea su naturaleza, y que en conjunto definen el llamado *comportamiento ondulatorio* de una serie de fenómenos físicos propios de las partículas. Un ciclo representa el movimiento completo de una onda. Cuando una partícula de la onda regresa a su posición original, se dice que ha completado un ciclo. Por otro lado, *la longitud de onda* ( $\lambda$ ), es la distancia que se requiere para completar un ciclo. La longitud de onda se reconoce por la distancia entre dos puntos que oscilan en la misma fase, por ejemplo la distancia entre dos crestas o entre dos valles (Segura, 1996; López-Lina, 2009), en la Figura 2.2.2 se observan las características de una onda mecánica.



**Figura 2.2.2. Características de una onda mecánica.**

(Fuente: Segura, 1996; López-Lina, 2009)

Al número de ciclos que ocurren en una unidad de tiempo, (por lo general el segundo), se le denomina *frecuencia* ( $f$ ). La unidad de medida para la frecuencia son los ciclos por segundo o Hertz (1 Hz = 1 ciclo/segundo). Una propiedad de los materiales, que es una característica propia de cada uno, es la velocidad ( $v$ ) de propagación de las ondas mecánicas a través de ellos (segura, 1996; López-Lina, 2009).

Las tres características descritas anteriormente son ampliamente utilizadas en la inspección por ultrasonido, ya que determinan el tipo de transductor que se va utilizar, la calibración del equipo, y el tamaño mínimo de discontinuidad que se podrá encontrar. Matemáticamente la relación entre estas tres características se muestra en la ecuación 1.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

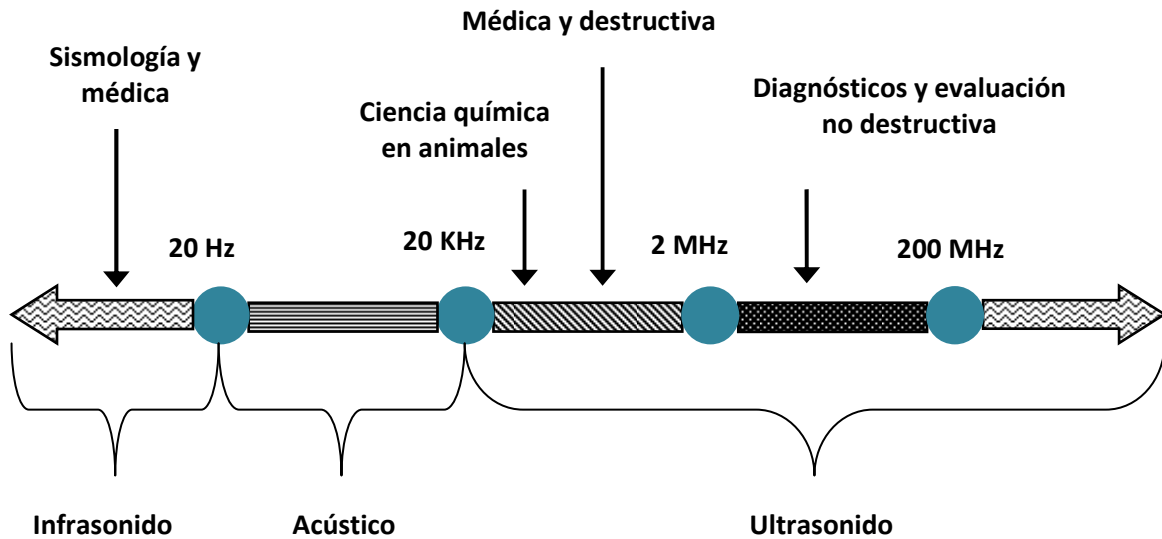
### **2.2.3 Atenuación**

Cuando el sonido viaja a través de un medio, su intensidad disminuye con la distancia. En materiales ideales, la presión del sonido (amplitud de la señal) es reducida solamente por la propagación de la onda. Los materiales reales, sin embargo, producen un efecto que debilita el sonido mientras se encuentra más lejos. Este debilitamiento resulta de la dispersión y de la absorción. La dispersión es la reflexión del sonido en otras direcciones diferentes a su dirección original de propagación. La absorción es la conversión de la energía ultrasónica a otras formas de energía. El efecto combinado de la dispersión y de la absorción se llama atenuación. La atenuación ultrasónica es el índice de decaimiento de la onda que se propaga a través del material (López-Lina, 2009).

La atenuación del sonido dentro de un material por sí mismo no es, a menudo de interés intrínseco. Sin embargo, las características y las condiciones de carga naturales se pueden relacionar con la atenuación. La atenuación sirve, a menudo, como herramienta de medición que conduce a la formación de teorías para explicar el fenómeno físico o químico que disminuye la intensidad ultrasónica (López-Lina, 2009).

## **2.3 Clasificación y aplicación del ultrasonido**

El ultrasonido es una señal de presión (compresión y expansión) con una frecuencia superior a 20 KHz. Las aplicaciones para diferentes frecuencias de ultrasonido se muestran en la Figura 2.3.



**Figura 2.3. Clasificación y aplicación del ultrasonido.**

(Fuente: Pilli *et al.*, 2011)

Dependiendo de la frecuencia, el ultrasonido se divide en tres regiones que son ultrasonido de energía (20-100 KHz), ultrasonido de alta frecuencia (100KHz-1 MHz), y ultrasonido de diagnóstico (1-500 MHz). Con los avances de la tecnología, el ultrasonido (> 20 KHz) se usa en diversos campos. El ultrasonido a partir de 20 KHz a 100 KHz se utiliza en sistemas químicamente importantes en los cuales los cambios físicos y químicos son considerados. El rango del ultrasonido a partir de 1 MHz a 10 MHz se usa en diferentes campos, semejante a la navegación y comunicación de animales, detección de grietas o defectos en sólidos y localización con ecos abajo del agua, exploración fetal, detección de anomalías pélvicas, tratamientos de tumores malignos. Las ondas acústicas entre 20 Hz y 20 KHz están en el rango audible, mientras que la audición varía con la edad del individuo. Las ondas acústicas menores de 20 Hz a 0.001 Hz se usan en sismología y aplicación médica (estudios de cardiografía) (Pilli *et al.*, 2011).

## **2.4 Transductores ultrasónicos**

La tecnología del ultrasonido nace en 1880 con el desarrollo de los efectos piezoeléctricos. La emisión de ondas de ultrasonido se obtiene por medio de cristales que son sometidos a una corriente eléctrica para lograr que vibren (Giraldo, 2003). Los emisores o transductores ultrasónicos son dispositivos que se utilizan para emitir sonidos ultrasónicos con frecuencias mayores a 20 KHz. Estos emisores son osciladores de estructura cristalina policristalina que basan su funcionamiento en el efecto piezoeléctrico. Los transductores piezoeléctricos contienen un elemento vibrante o activo, que es el que realiza la conversión eléctrica-mecánica de energía (Ruíz-Toledo, 2004).

El transductor es una parte muy importante del sistema ultrasónico de instrumentación. El transductor contiene un elemento piezoeléctrico, que convierte señales eléctricas en vibraciones mecánicas y vibraciones mecánicas en señales eléctricas. Muchos factores, incluyendo el material, construcción mecánica y eléctrica, y las condiciones de carga mecánica, tienen influencia en el comportamiento de un transductor. La construcción mecánica incluye parámetros tales como el área superficial, amortiguamiento mecánico, el contenedor del cristal, el tipo de conector y otras variables de la construcción física. Los transductores de contacto también incorporan una placa de desgaste para proteger al elemento activo contra la fricción (López-Lina, 2009).

### **2.4.1 Eficiencia del transductor, ancho de banda y frecuencia**

Algunos transductores se fabrican especialmente para ser transmisores eficientes, mientras que otros para que sean receptores eficientes. Un transductor que está diseñado para una cierta aplicación no producirá siempre los mismos resultados deseados para una aplicación diferente. Por ejemplo, la *sensibilidad*, que es la capacidad de detectar discontinuidades pequeñas, es proporcional al producto de la eficiencia del transductor como transmisor y receptor. La *resolución*, que es la capacidad de detectar discontinuidades pequeñas, es proporcional al

producto de la eficiencia del traductor como trasmisor y receptor. La resolución, requiere un transductor altamente amortiguado. La resolución se puede entender de dos diferentes maneras, la primera es la resolución cercana, que se refiere a la habilidad del sistema de inspección para detectar discontinuidades localizadas cerca de la superficie de entrada. Por otro lado la resolución lejana es la habilidad del sistema de inspección de separar dos o más ecos de discontinuidades cercanas entre sí en distancia (López-Lina, 2009).

## **2.5 Microcontroladores**

Un microcontrolador, es un circuito integrado que dispone de una memoria donde se almacena un programa para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. Estos dispositivos electrónicos se han desarrollado para reducir notablemente el tamaño, número de componentes, volumen y peso de un circuito eléctrico. Se usan en automatización, en equipos de comunicación y de telefonía, en instrumentos electrónicos, equipos médicos e industriales, juguetes y en otras aplicaciones (Palacios *et al.*, 2006).

### **2.5.1 Características de los microcontroladores**

La mayoría de los microcontroladores disponen de una arquitectura interna explicados a continuación (Palacios *et al.*, 2006):

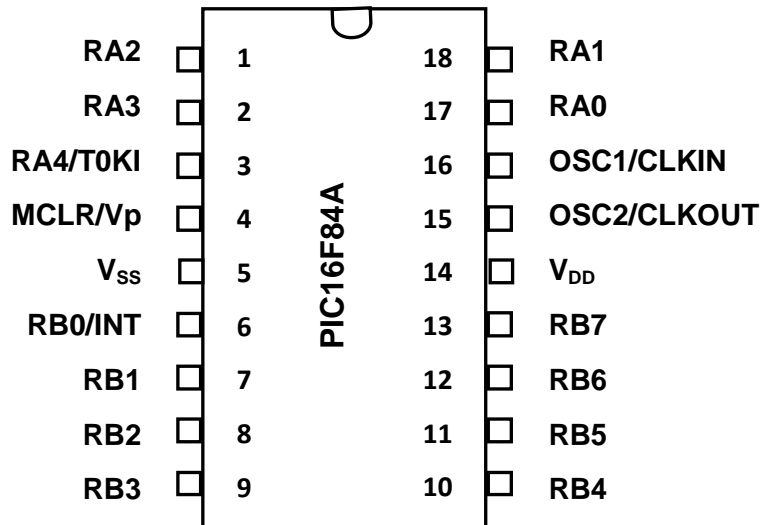
- Unidad de Procesamiento Central o CPU. Es la que lleva a cabo las funciones lógicas y aritméticas, siguiendo las instrucciones que lee de la memoria de programa, lee y escribe a la memoria de datos, tomando decisiones que controlan el estado de las entradas y salidas.
- Memoria de programa. Es aquella que almacena el código del programa el cual es leído por el CPU.

- Memoria de datos. Está formada por una memoria RAM, y en la mayoría de los microcontroladores por una memoria EEPROM que conserva las variables usadas por el programa, el CPU escribe y lee de esta memoria.
- Reloj. Su función es sincronizar todas las funciones del microcontrolador, generalmente se utiliza un cristal de cuarzo o circuito RC, como reloj externo.
- Puertos de entrada y salida. Proporcionan la comunicación del microcontrolador con el mundo exterior.
- Periféricos en el hardware del microcontrolador.
  - Comunicación serie UART.
  - I2C (Inter-Integrated Circuit)
  - Interfaz de Periféricos Seriales.
  - Red de Controladores.
  - USB.
- Conversores Análogo/Digital, para convertir un voltaje presente en una terminal a un valor digital manipulable por el programa del microcontrolador.
- Modulación de Ancho de Pulso (PWM), para generar señales cuadradas de frecuencia fija con el ancho de pulso modificable.

### **2.5.2 Microcontrolador PIC16F84A**

El PIC16F84A, es un circuito integrado de 18 terminales de la familia Microchip (Palacios *et al.*, 2006) como se ve en la Figura 2.5.2 y la descripción de cada terminal se muestra en la misma.





**Figura 2.5.2. Descripción de las terminales del microcontrolador PIC16F84A.**

(Fuente: Palacios *et al.*, 2006)

Las características que describen al microcontrolador PIC16F84A se muestran en el cuadro 2.5.2.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Frecuencia de operación	4 a 20 MHz
Memoria FLASH de programa (14 bits)	1 K
Memoria de datos (bytes)	90
Memoria de datos EEPROM (bytes)	64
Interrupciones	4
Puertos de E/S	Puertos A, B
Temporizadores	1
Modos de operación del oscilador	4
Conjunto de instrucciones	35

**Cuadro 2.5.2. Características del microcontrolador PIC16F84A.**

(Fuente: Palacios *et al.*, 2006)

## 2.6 Amplificador de audio LM380N

El LM380N es un pequeño amplificador de bajo consumo de corriente y buena calidad de audio con el que se consigue una potencia de 2.5 W utilizando una alimentación de 10 V y un altavoz de 8  $\Omega$ . Este circuito integrado se utiliza en:

- Intercomunicadores.
- Alarmas.
- Drives ultrasónicos.
- Sistemas de sonido de televisión.
- Convertidores de potencia.

En la Figura 2.6 se muestra el encapsulado del LM380N y la descripción de sus terminales.

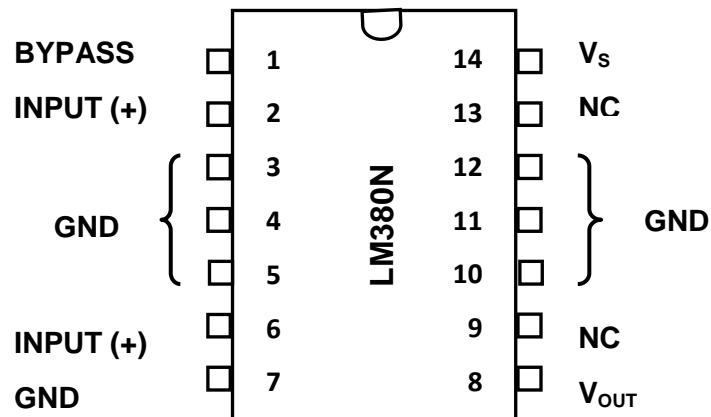


Figura 2.6. Descripción de las terminales del LM380N.

(Fuente: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/M/3/8/LM380N.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/8/LM380N.shtml))

El LM380N dispone de una buena sensibilidad y es capaz de manejar señales de pequeña magnitud en su entrada. En el cuadro 2.6 se muestran las características eléctricas de este circuito integrado.

## Características eléctricas del LM380N

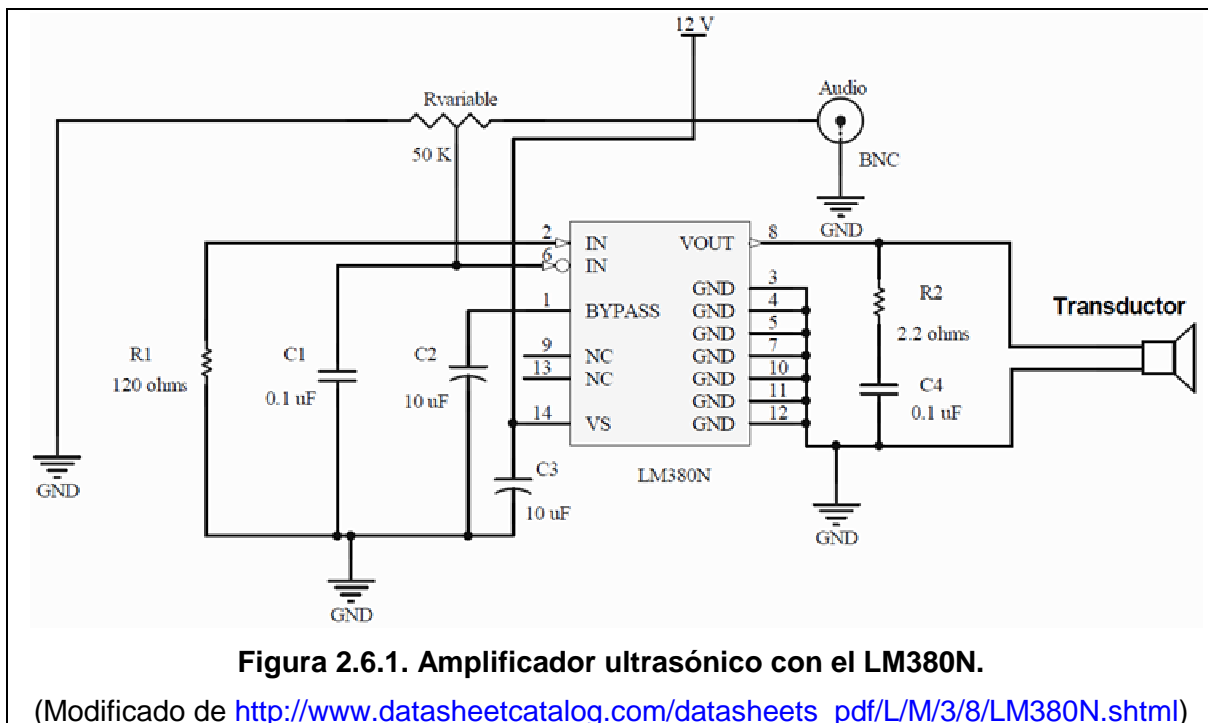
Rango de voltaje de alimentación	10-22 V
Ganancia fijo de voltaje	50
Capacidad de picos de corriente	1.3 A
Alta impedancia de entrada	150 $\Omega$
Distorsión	Baja
Bajo consumo de energía en reposo	0.13 W ( $V_S = 18$ V)

**Cuadro 2.6. Características eléctricas del LM380N.**

(Fuente: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/M/3/8/LM380N.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/8/LM380N.shtml))

### 2.6.1 El LM380N como amplificador ultrasónico

Por su respuesta en frecuencia del LM380N se ha convertido en un circuito integrado con el que podemos construir amplificadores ultrasónicos. En la Figura 2.6.1 se muestra un diagrama esquemático de un amplificador ultrasónico.



## 2.7 Convertidor Digital/Analógico DAC0808

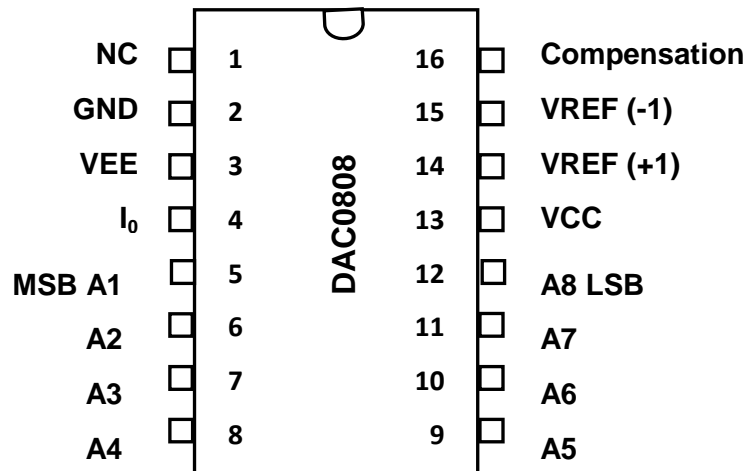
El DAC0808 es un circuito integrado de 16 terminales para convertir una señal digital de 8 bits a una analógica (Navas-González, 2000) cuyas características se muestran en el Cuadro 2.7.

Característica	Valor
Voltaje de alimentación	+/- 4.5-18 V
Potencia consumida a 15 V	174 mW
Corriente máxima	3.8 mA
Error de offset	+/- 1LSB

**Cuadro 2.7. Características del DAC0808.**

(Fuente: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/D/A/C/0/DAC0808.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/D/A/C/0/DAC0808.shtml))

En la Figura 2.7 se ve el encapsulado del DAC0808 y se muestran sus terminales en la misma.



**Figura 2.7. Descripción de las terminales del DAC0808.**

(Modificado de [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/D/A/C/0/DAC0808.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/D/A/C/0/DAC0808.shtml))

## 2.8 Multiplexor 74HC4053

El circuito integrado 74HC4053 es un modulador formado básicamente de 3 multiplexores analógicos de 2 canales cada uno (Bonache-Gómez, 2005). En la Figura 2.8 se muestran sus terminales y la descripción de las mismas.

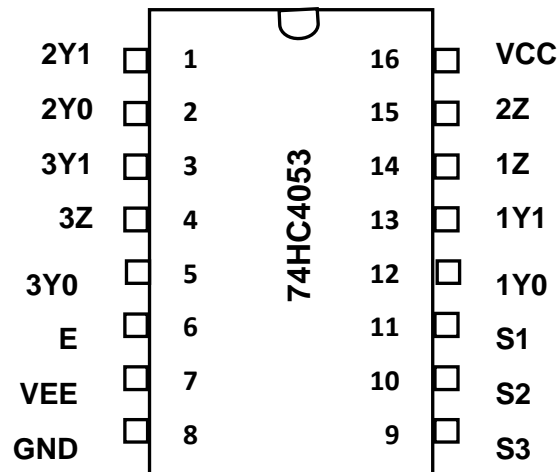
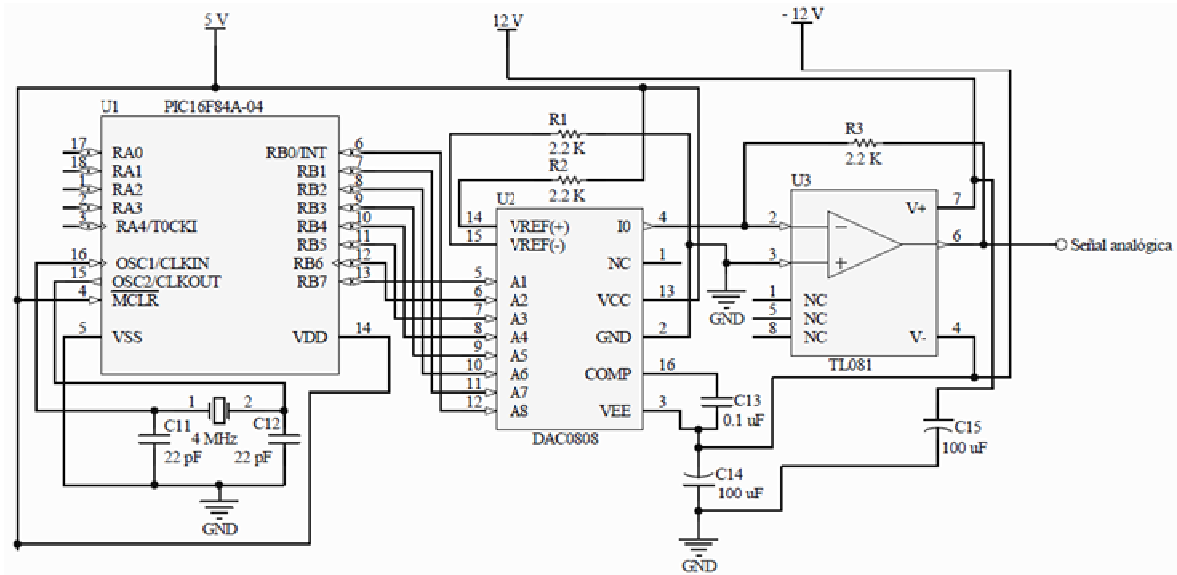


Figura 2.8. Descripción de las terminales del 74HC4053.

(Fuente: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/7/4/V/H/74VHC4053M.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/V/H/74VHC4053M.shtml))

## 2.9 Conversión de una señal digital/analógica

La conversión de una señal digital/analógica consiste en representar pulsos digitales en una amplitud analógica (Bonache-Gómez, 2005). Existen muchos circuitos básicos que se utilizan en esta conversión. En la Figura 2.9 se muestra un diagrama esquemático de un circuito de voltaje con salida analógica unipolar.



**Figura 2.9. Diagrama esquemático de un convertidor digital/análogo.**

El amplificador operacional TL081 convierte la corriente complementaria del DAC0808 en voltaje de salida unipolar. El microcontrolador PIC16F84A conmuta con pulsos digitales al puerto de entrada del DAC0808 para generar la corriente complementaria.

## 2.10 Modulación en Amplitud (AM)

En este tipo de modulación, la amplitud de una señal portadora cambia con respecto a los cambios de amplitud de una señal moduladora o modulante. La frecuencia y las fase de la portadora son siempre las mismas, solamente la amplitud cambia para seguir las variaciones en la información (Bonache-Gómez, 2005). En la Figura 2.10.A se muestra un diagrama esquemático para Modulación en Amplitud (AM). El microcontrolador PIC16F84A genera la señal moduladora por la terminal RA2, el DAC0808 y el TL081 generan la señal modulante (señal analógica). Estas señales se conectan al multiplexor 74HC4053 para generar la señal en AM (Figura 2.10.B)

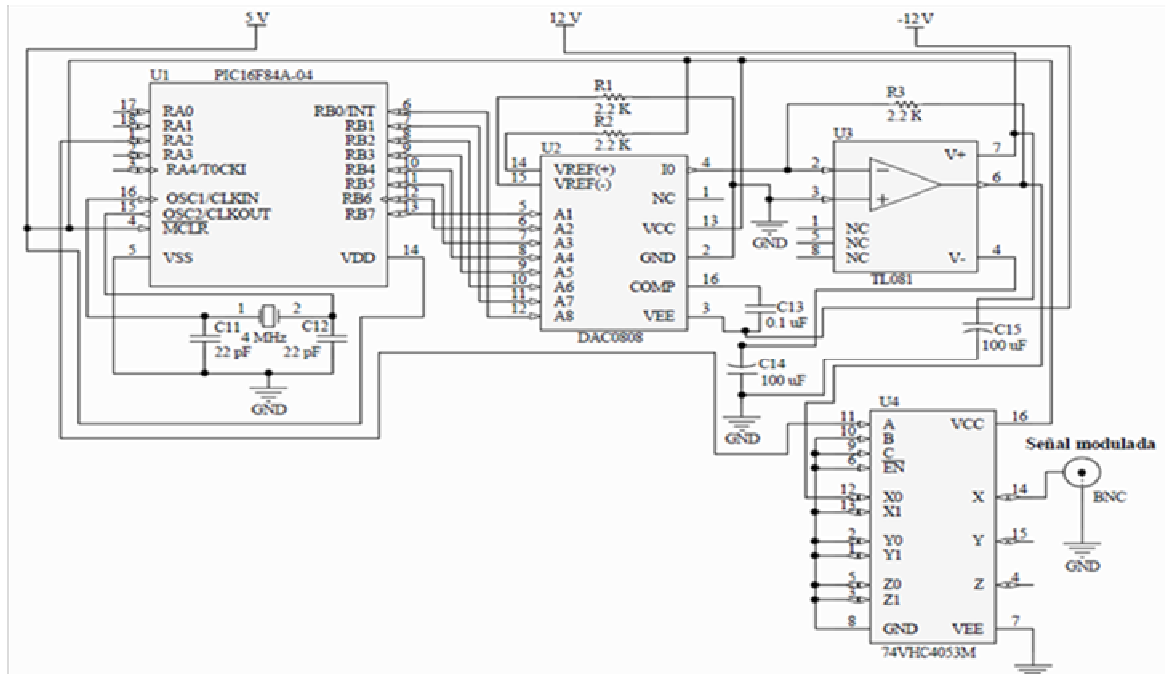


Figura 2.10.A. Diagrama esquemático para Modulación en Amplitud (AM).

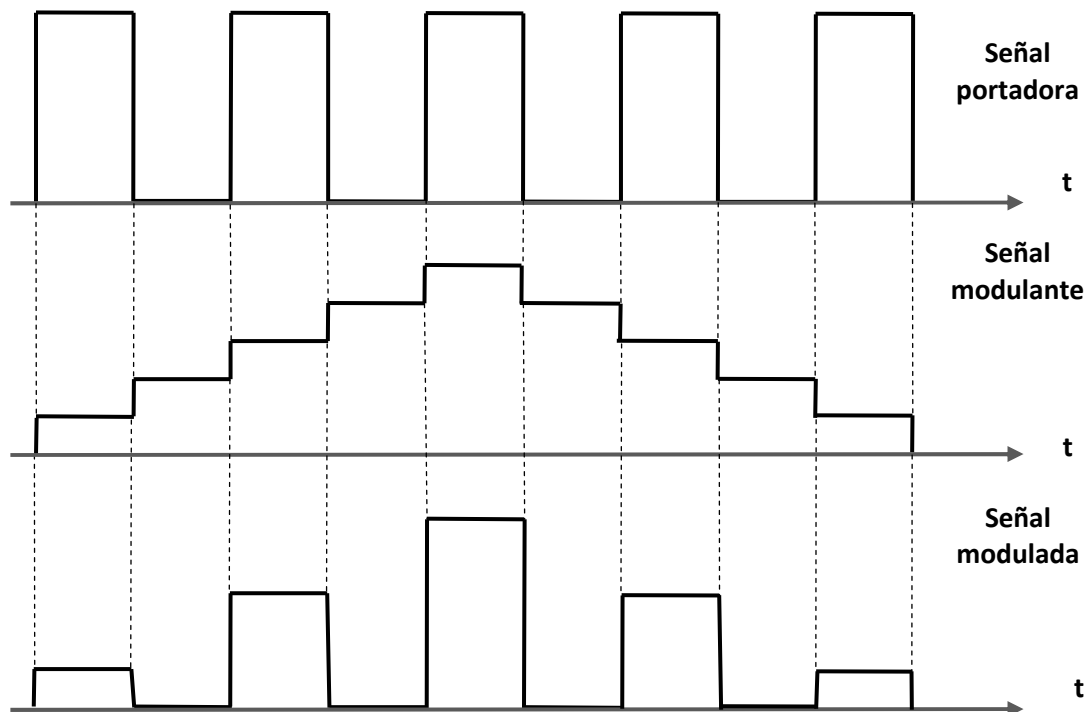


Figura 2.10.B. Generación de una señal en Amplitud Modulada (AM).

## 2.11 Antecedentes

Se diseñó un sistema electrónico basado en la simulación de las características principales de las llamadas de ecolocación de los murciélagos, para observar el comportamiento del lepidóptero *copitarsia decolora*. Se evaluaron tres especies de este género de no más de tres días de edad en un recinto oscuro controlado de 100 X 50 X 60 centímetros, con paredes de 1" en tela negra tejida en fibra de vidrio Black Theater. El experimento se evaluó en el recinto oscuro en el transcurso del día simulando horas de la noche, se hizo un barrido de frecuencias desde 10 Hz a 100 KHz, orientando el emisor de ultrasonido en diferentes ángulos hacia la polilla, siguiendo un radio circular. Se encontró que en un rango de 28 a 48 KHz la *Copitarsia decolora* presenta una serie de movimientos alares con temblor en la punta de sus alas, bloqueo de los músculos alares y movimientos bruscos (Paz *et al.*, 2008). Un diagrama a bloques del diseño de Paz *et al.*, 2008, se muestra en la Figura 2.11.A.

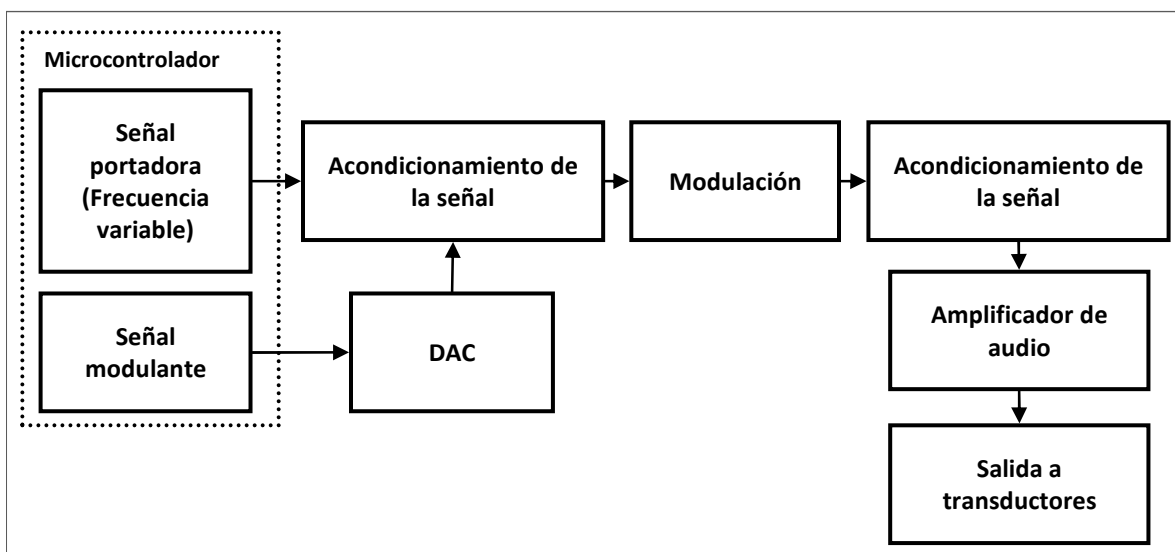
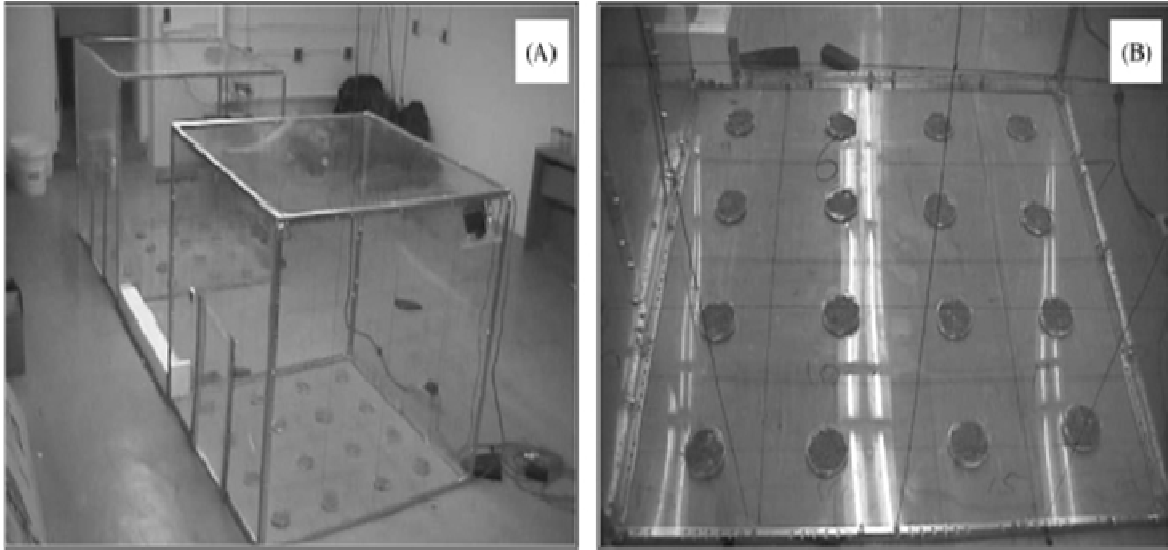


Figura 2.11.A. Diagrama a bloques del sistema electrónico desarrollado por Paz *et al.*, 2008.



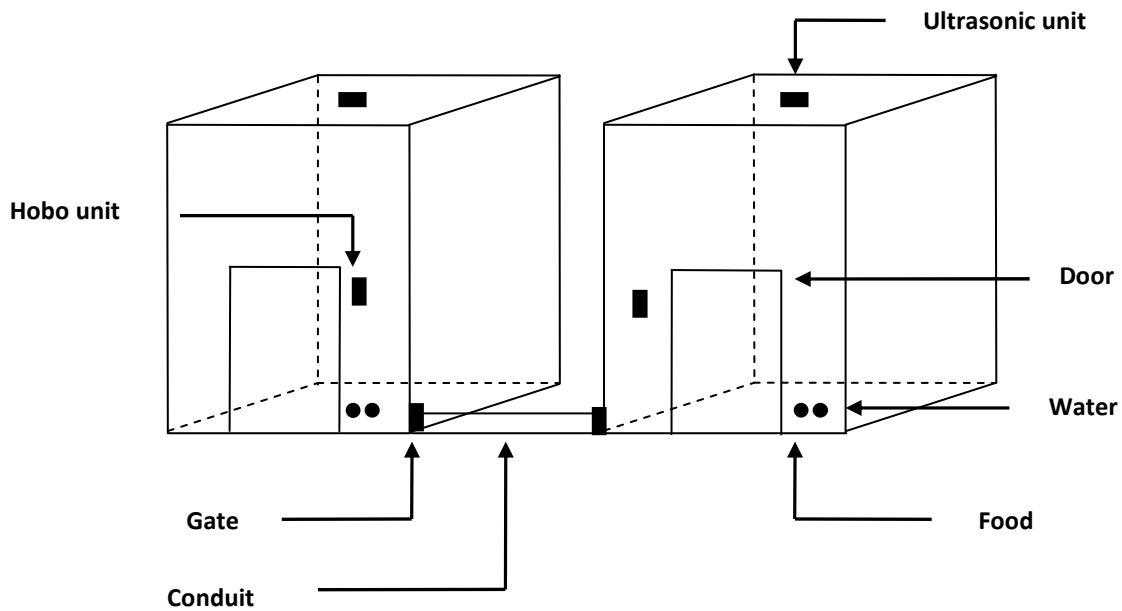
Karsulovic *et al.* (2008), analizaron el comportamiento de termitas al aplicar sonidos audibles en el rango de 16Hz a 20 KHz y ultrasónicos con frecuencias de 100, 500 y 1000 KHz, con diferentes niveles de energía y formas de onda, de modo de establecer las condiciones para crear una barrera física frente a la acción de las termitas en probetas de madera de pino radiata. En el rango ultrasónico con una frecuencia de 500 KHz, fue posible inhibir la alimentación de las termitas mientras el campo acústico se mantiene activo. En el rango audible, se observó que a una frecuencia de 80 Hz se inhibe el paso de las termitas a través de la muestra, alterando drásticamente su comportamiento con una hora de exposición, disminuyendo la tasa de alimentación y sobrevivencia, lo que indica la generación de un efecto fisiológico irreversible.

Se estudió el efecto del ultrasonido de un dispositivo comercial sobre la reproducción de la palomilla bandeada (*Plodia interpunctella*), en dos pares de recintos de plexiglás (Figura 2.11.B). A un recinto se le aplicó ultrasonido y el otro fue el tratamiento control. Se hicieron cinco ensayos con 20 adultos en cada recinto (10 hembras y 10 machos), con tratamientos de frecuencias de 21, 25 y 35 KHz con una intensidad de 94 dB a una distancia de 50 cm. En el recinto donde se aplicó ultrasonido, se observó que había 48 % menos larvas en comparación al recinto donde no se emitió ultrasonido. Además se observó que en presencia del ultrasonido, alrededor de un 17 % de las palomillas estaban tiradas en el suelo. Los resultados positivos reportados en este trabajo sugieren que la tecnología del ultrasonido se aplique en el comportamiento reproductivo de la palomilla bandeada (Huang *et al.*, 2003).



**Figura 2.11.B. Recintos de plexiglás del experimento de Huang *et al.*, 2003.**

Huang y Subramanyam (2006), probaron tres dispositivos comerciales etiquetados como **A**, **B** y **C** para ahuyentar la cucaracha alemana (*Dictyoptera, Blattellidae*). El experimento se hizo en recintos de 1.2 m x 1.2 m x 1.2 m (Figura 2.11.C), colocando cada dispositivo a una distancia de 50 cm de las cucarachas. El dispositivo **A** emitió frecuencias de 26 y 34 KHz a una intensidad de 1dB, el **B** generaba frecuencias de 25 y 35 KHz a 4 dB, el **C** generaba un rango de frecuencias entre 28 a 42 KHz con 2 dB. El resultado demostró que la emisión de ultrasonido de los tres dispositivos no tuvo efecto alguno sobre la cucaracha alemana.



**Figura 2.11.C. Recintos de plexiglás del experimento de Huang y Subramanyam, 2006.**

Suga (1966), analizó el comportamiento para cuatro especies de saltamontes neotropicales en la aplicación de sonido ultrasónico. La intensidad del sonido fue de 20 a 102 dB a una distancia de 10 cm del insecto. Se observó que la sensibilidad óptima de estas especies está en un rango de 20 a 25 KHz con una intensidad cerca de 40 dB.

Andrade y Cabrini (2009), demostraron que los repelentes comerciales de mosquitos *Aedes aegypti* (*Diptera: Culicidae*) no son efectivos, y que algunos de ellos atraen a estos insectos, incrementando en número de infestación. En un estudio se evaluaron tres dispositivos comerciales, se observó que los mosquitos son atraídos en cinco frecuencias diferentes de un rango de 9.6 a 18.2 KHz aumentando la tasa de infestación.

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Área experimental

El experimento se desarrolló en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (Figura 3.1.A). El poblado de Amazcala pertenece al municipio del Marqués, Querétaro, el cual se localiza en el sector suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud norte. Su longitud se encuentra entre los 100°09' y los 100°24' del oeste a 1850 m sobre el nivel del mar. Colinda al oeste con el municipio de Querétaro, al norte con estado de Guanajuato, al este con el municipio de Colón y al sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. Las carreteras disponibles para llegar al poblado de Amazcala son la carretera 57, la carretera a Chichimequillas y México Libre.



**Figura 3.1.A. Área experimental (Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala).**

En la Figura 3.1.B se muestra un diagrama a bloques de la metodología general de la investigación.

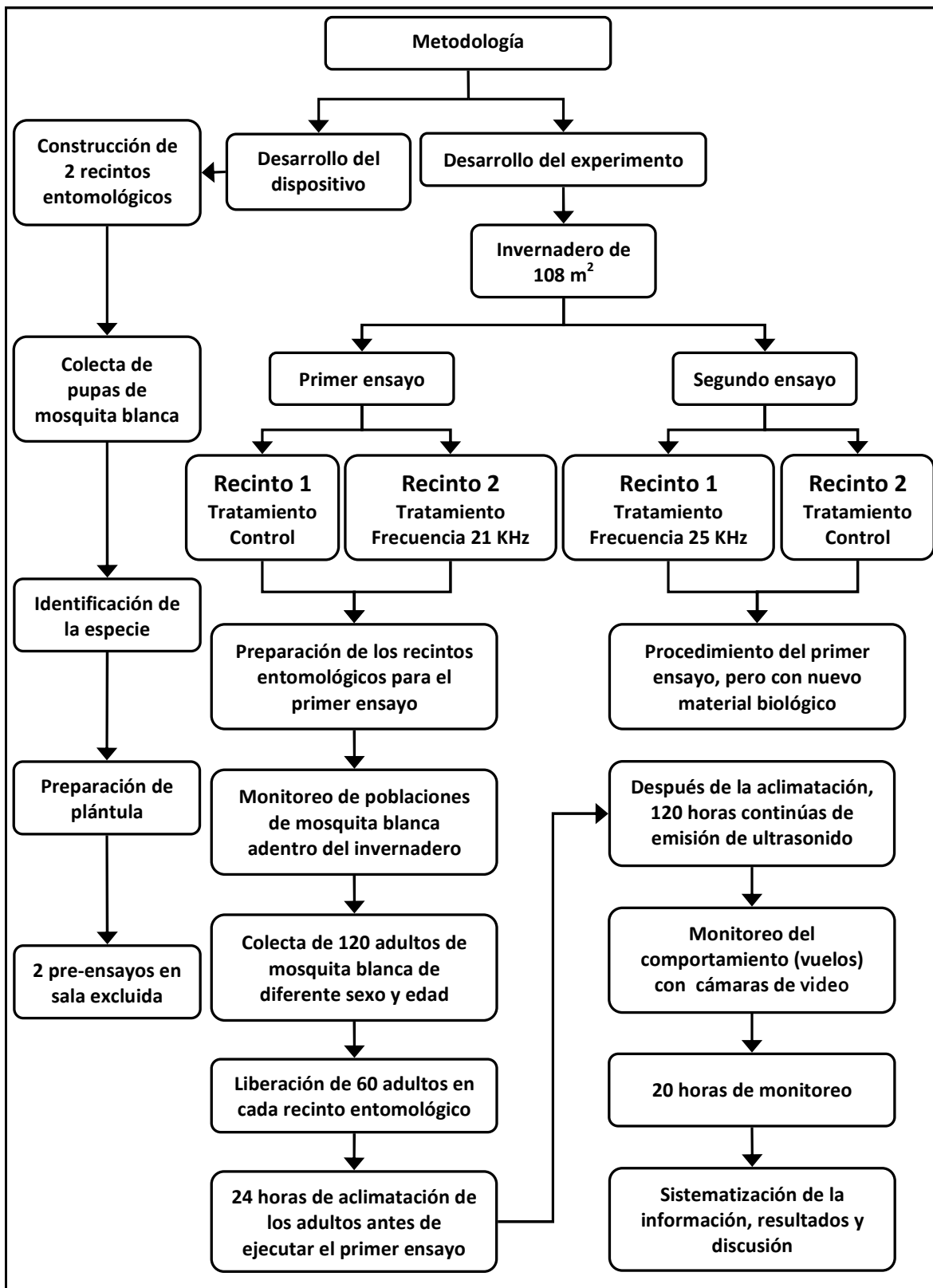
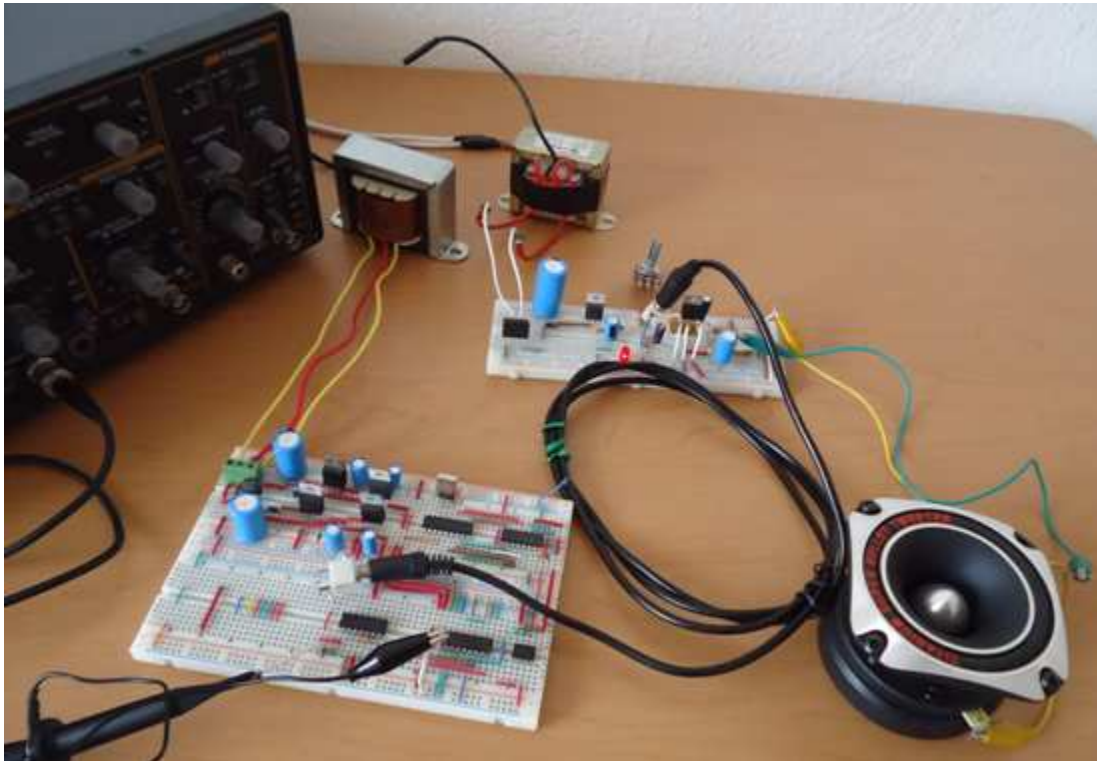


Figura 3.1.B. Diagrama a bloques de la metodología general del estudio.

## 3.2 Desarrollo del dispositivo

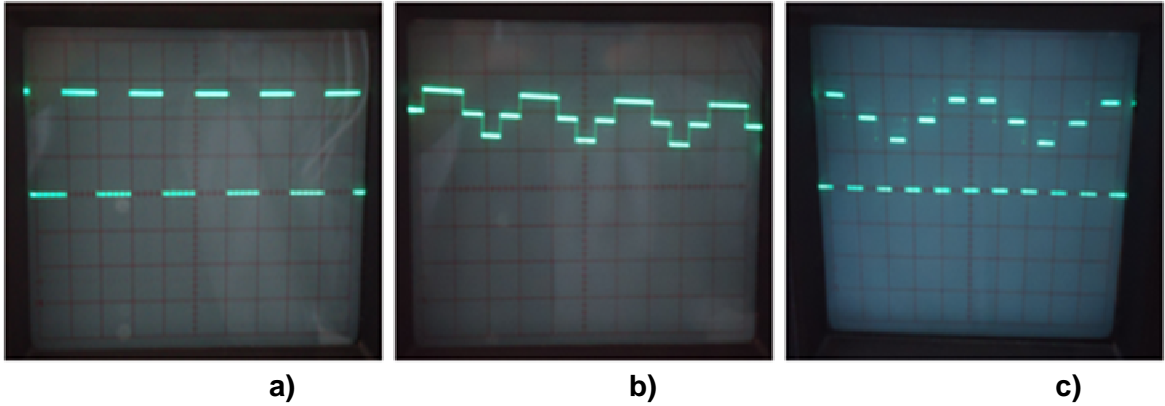
### 3.2.1 Implementación en tablilla protoboard

Para el diseño del dispositivo se tomó como referencia el diagrama a bloques de Paz *et al.*, 2008. El dispositivo se implementó en tablilla protoboard para pruebas posteriores tal como se muestra en la Figura 3.2.1.A.



**Figura 3.2.1.A. Implementación del dispositivo en tablilla protoboard.**

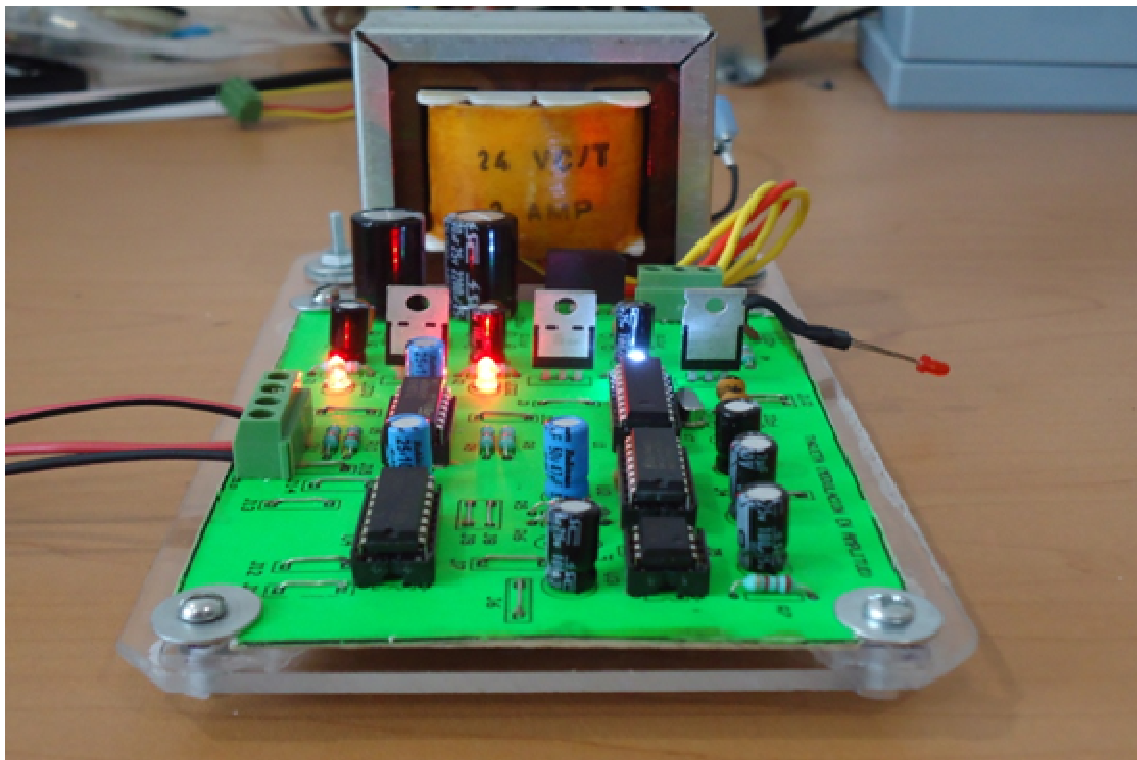
El diagrama esquemático general del dispositivo se muestra en apéndice 2. Se utilizó un microcontrolador PIC16F84A para generar una señal cuadrada (portadora) con frecuencia variable en un rango de 26 a 47 KHz. La señal moduladora se generó por medio del microcontrolador PIC16F84A, y un convertidor Digital/Analógico constituido por el DAC0808 y el TL081. En la Figura 3.2.1.B se muestra la señal portadora, moduladora y modulada, después del procesamiento.



a) b) c)  
**Figura 3.2.1.B. Señales generadas por el dispositivo ultrasónico, a) portadora, b) moduladora, c) modulada.**

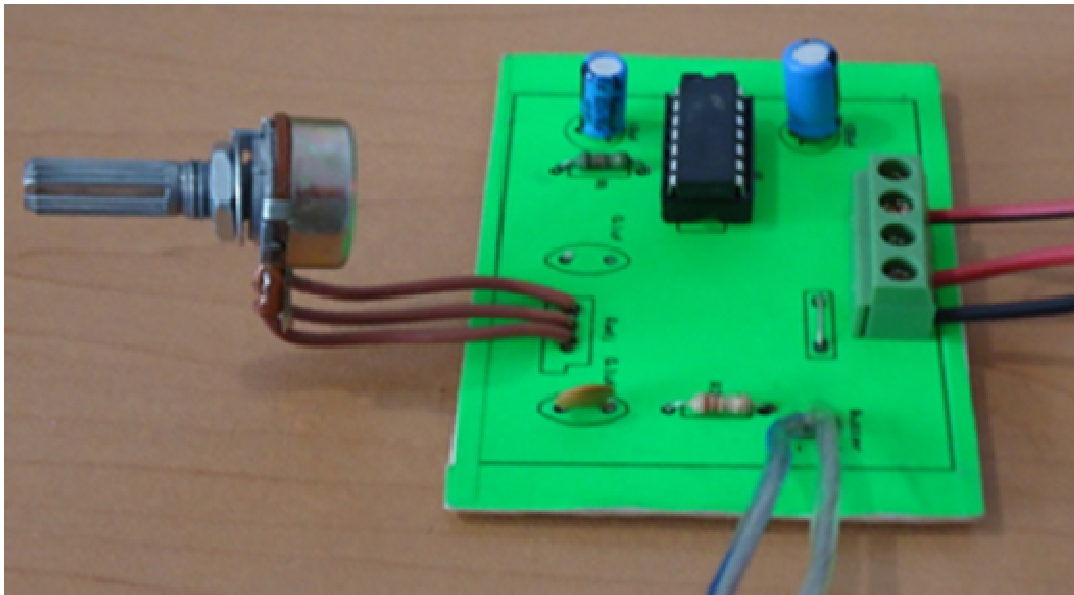
### **3.2.2 Implementación en tarjetas y prototipo**

La etapa de Modulación en Amplitud, y las fuentes de alimentación para los dispositivos analógicos y digitales, se implementaron en una tarjeta (tarjeta de Modulación en Amplitud) como se muestra en la Figura 3.2.2.A.



**Figura 3.2.2.A. Tarjeta de Modulación en Amplitud.**

La etapa de amplificación se implementó en una sola tarjeta (tarjeta de amplificación de señales ultrasónicas) (Figura 3.2.2.B). Ésta se diseñó con cuatro entradas, una para la señal modulada y las demás para la alimentación de los dispositivos. El diagrama esquemático de esta tarjeta y su circuito impreso se muestran en apéndice 2 y 3 respectivamente.



**Figura 3.2.2.B. Tarjeta de amplificación de señales ultrasónicas.**

Posteriormente, las tarjetas se montaron en un gabinete para finalizar con el prototipo. En la Figura 3.2.2.C. se muestran diferentes vistas del dispositivo.



**Figura 3.2.2.C. Diferentes vistas del dispositivo.**



### 3.3 Construcción de recintos entomológicos

Un par de recintos entomológicos con dimensiones de 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m fueron construidos de ángulo de acero inoxidable para liberar adultos de mosquita blanca y observar su patrón de comportamiento (Figura 3.3). Cuatro de los seis lados de cada recinto se cubrieron con malla fina, y dos fueron cubiertos de vidrio. Una cara frontal de vidrio de cada recinto entomológico se construyó para monitorear los vuelos triviales.



**Figura 3.3. Recintos entomológicos utilizados durante en el experimento.**

### 3.4 Colecta de pupas de mosquita blanca e identificación de la especie

Tres días antes de iniciar con el primer ensayo, la colecta de pupas se hizo adentro del invernadero donde se realizó el experimento. Se tomaron cuatro folíolos al azar de plantas silvestres infestadas con pupas, y se trasladaron al laboratorio de fisiología y nutrición vegetal del campus Amazcala para analizarse con un microscopio estereoscópico, y realizar la descripción de la especie usando la terminología detallada por Smith (2009). Las pupas colectadas y analizadas

presentaron características de la especie *T. vaporariorum*. En la Figura 3.4 se observa una pupa de esta especie colectada y analizada con el microscopio estereoscópico.



**Figura 3.4.** Pupa de *T. vaporariorum* colectada para su identificación.

### **3.5 Preparación de la plántula y trasplante**

Se sembraron 40 semillas de Pepino (*Cucumis sativus L.*), y para la siembra se utilizó una charola de poliestireno de 200 cavidades. El sustrato utilizado para la germinación fue 75% de Peat Moss y 25 % de Vermiculita. Una vez que cada planta tomó una altura de 10 cm en la charola (Figura 3.5), se trasladaron en recipientes de plástico, color negro y volumen de 1 litro, con una mezcla de 100 % Peat Moss.

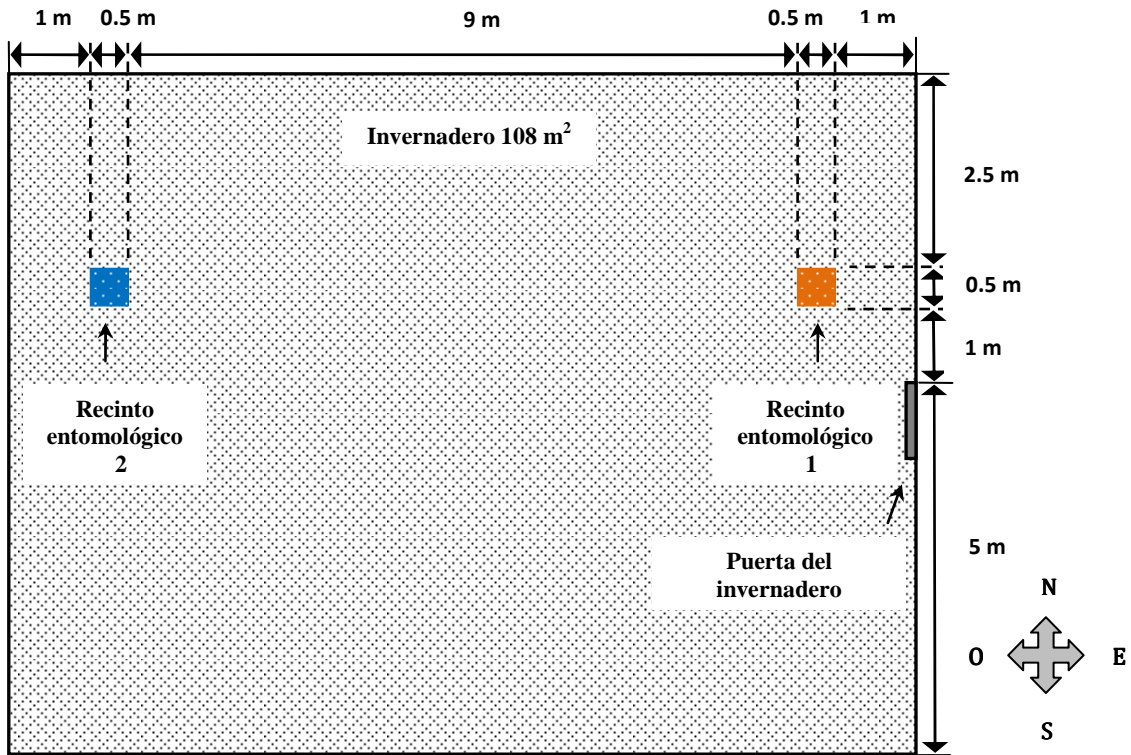


**Figura 3.5. Plántula de pepino germinada para el experimento.**

### **3.6 Desarrollo del experimento en invernadero**

El estudio se realizó en un invernadero experimental de 108 m<sup>2</sup> libre de aplicación de pesticidas. Anteriormente, este invernadero se usó para cultivar amaranto (*Amarantus*), y cuando se terminó este cultivo se dejaron crecer plantas silvestres hospederas de mosquita blanca. Previo al experimento no se le dio limpieza de malezas al invernadero para no afectar el hábitat de este insecto.

Dos ensayos se llevaron a cabo consecutivamente para evaluar el efecto del ultrasonido sobre el patrón de comportamiento (vuelos triviales) de la mosquita blanca. En el primer ensayo se emitió una frecuencia de 21 KHz, mientras que para el segundo 25 KHz. Dos recintos entomológicos se usaron para los dos ensayos, y la posición de cada uno adentro del invernadero durante el experimento se observa en el esquemático de la Figura 3.6.



**Figura 3.6. Esquemático del invernadero utilizado durante el experimento.**

En los dos ensayos, un recinto entomológico se usó como tratamiento control (sin emisión de ultrasonido) y en el otro se emitió ultrasonido. En el primer ensayo, la frecuencia de 21 KHz se irradió en el recinto entomológico 1, mientras que para el segundo ensayo la frecuencia de 25 KHz se emitió en el recinto entomológico 2.

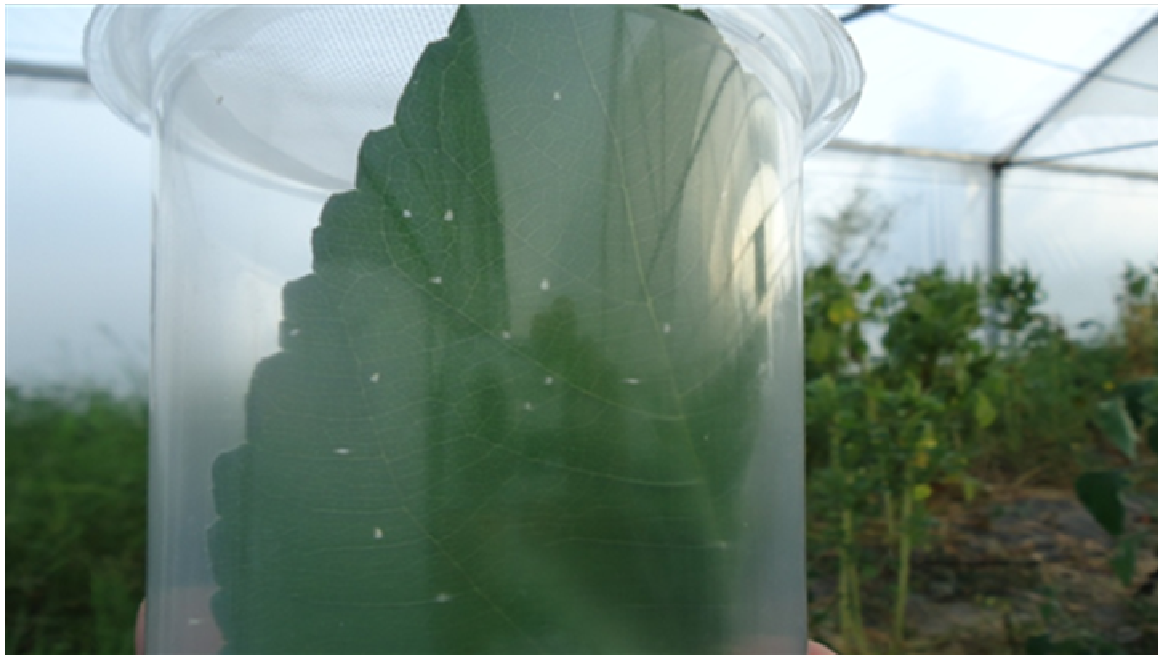
### **3.6.1 Material Biológico**

Antes de la colecta, y para cada uno de los ensayos, adentro del invernadero se monitoreó poblaciones de mosquita blanca en plantas silvestres hospederas de este insecto (Figura 3.6.1.A). Se colectaron 120 adultos de diferente edad y sexo para cada ensayo en 6 recipientes de plástico transparente, tapa de malla fina en la parte superior y volumen de 1 litro (20 insectos por recipiente) (Figura 3.6.1.B). La colecta del primer y segundo ensayo se hizo a las

18:15 Hrs, y al mismo tiempo se liberó a 60 adultos en cada recinto entomológico para su aclimatación por 24 Hrs.



**Figura 3.6.1.A. Monitoreo de poblaciones de mosquita blanca adentro del invernadero experimental.**



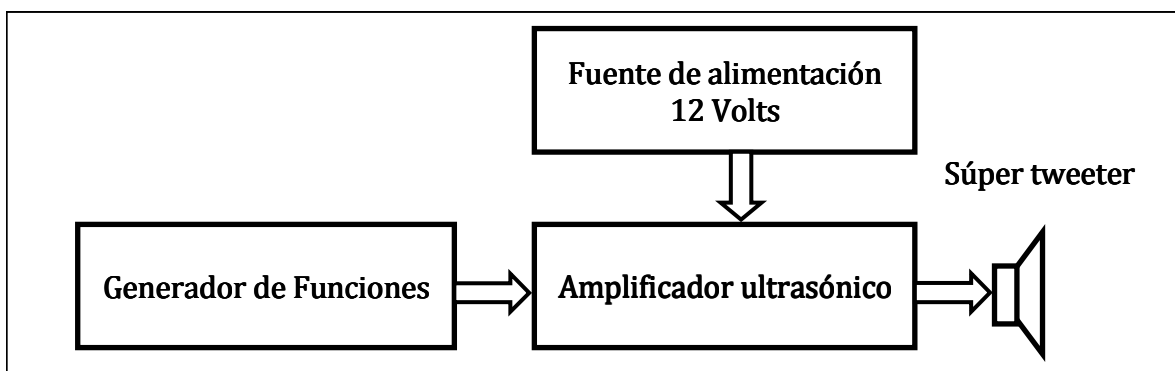
**Figura 3.6.1.B. Colecta de mosquita blanca adentro del invernadero experimental.**

Un data logger (WatchDog 1000 series Micro Stations–Temp/RH) se colocó adentro de cada recinto entomológico para registrar los niveles de humedad relativa y temperatura, y verificar las condiciones ambientales de los insectos durante los dos ensayos. La media de la temperatura y humedad relativa en el recinto entomológico 1 fueron de 22.4 °C y 54.8 % respectivamente, mientras que para el recinto entomológico 2 fueron de 22.7 °C y 55.9 %.

Una planta de pepino (*Cucumis sativus L.*) con 5 hojas, 20 cm de altura, y libre de cualquier aplicación de pesticidas, fue colocada al centro de cada recinto entomológico para alimentar a cada mosquita blanca.

### **3.6.2 Emisión de ultrasonido y monitoreo del comportamiento**

Para la emisión de ultrasonido se utilizó un generador de funciones analógico (GoldStar precisión), la tarjeta de amplificación de señales ultrasónicas descrita en la sección 3.2.2 de la tesis, una fuente de alimentación de 12 V de corriente directa, y un súper tweeter (bobina Kapton de 2.54 cm, imán de 300z, frecuencia de 1.5-25 KHz, sensibilidad 104 dB, impedancia 4-8 Ω) (Figura 3.6.2.A).

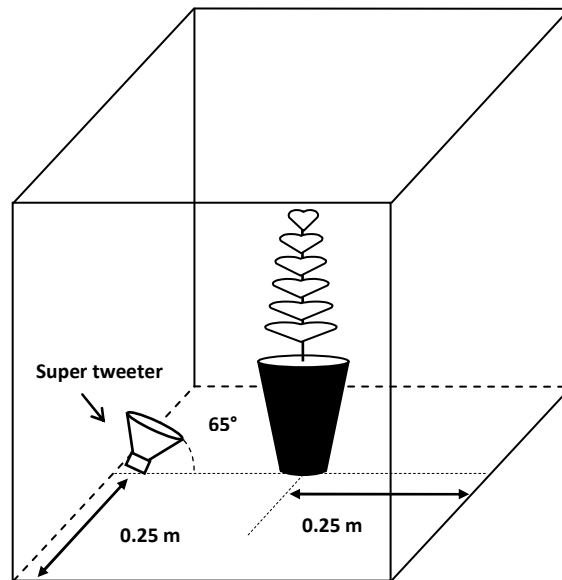


**Figura 3.6.2.A. Diagrama a bloques del dispositivos utilizado en la emisión de ultrasonido durante los ensayo.**

Debido a que el súper tweeter utilizado para estos ensayos es un emisor de señal senoidal, la tarjeta de modulación en amplitud descrita en la sección 3.2.2 de la tesis no se utilizó ya que su salida es una señal cuadrada modulada en

amplitud. El dispositivo descrito en la sección 3.2.2 sólo se utilizó en los pre-ensayos.

En el primer ensayo, el súper tweeter se colocó en el recinto entomológico 1 en orientación Norte-Sur y con una posición sobre el piso como se observa en la Figura 3.6.2.B.



**Figura 3.6.2.B. Orientación y posición del súper tweeter durante los ensayos.**

En el segundo ensayo el mismo súper tweeter se colocó en el recinto entomológico 2 con la misma orientación y posición como se hizo en el recinto entomológico 1 del primer ensayo (Entrecruzado para minimizar la variabilidad del ambiente). Después del periodo de aclimatación de los adultos de mosquita blanca en cada ensayo, el súper tweeter se activó por 120 Hrs consecutivas para la emisión de ultrasonido.

Durante las 120 Hrs de emisión de ultrasonido de cada uno de los ensayos, se colocó una videocámara (RCA, EZ1120 Series, temperatura de almacenamiento/operación: 5-40 °C, Sensor CMOS de 1.3 Mega Pixeles, Zoom



digital 4 x) afuera de cada recinto entomológico (Figura 3.6.2.C) para monitorear el patrón de comportamiento en vuelos triviales de la mosquita blanca.



**Figura 3.6.2.C. Posición de las videocámaras afuera de los recintos entomológicos durante los ensayos.**

En cada ensayo, se tomaron 20 video clips (10 clips por cada recinto entomológico) con una duración de 60 minutos cada uno. Los video clips del recinto entomológico 1 se comenzaron a grabar al mismo tiempo que los del recinto entomológico 2. En los cuadros 3.6.2.A y 3.6.2.B se muestra la hora de comienzo y fin de cada grabación de los video clips en el ensayo 1 y 2 respectivamente.



<b>Video clip del recinto entomológico 1 y 2</b>	<b>Horario (Inicio – Fin) de la video grabación (Hrs)</b>	<b>Fecha</b>
video clip (vc1)	18:15 a 19:15	05/Septiembre/2012
video clip (vc2)	10:30 a 11:30	06/Septiembre/2012
video clip (vc3)	9:48 a 10:48	07/Septiembre/2012
video clip (vc4)	12:49 a 13:49	07/Septiembre/2012
video clip (vc5)	14:36 a 15:36	08/Septiembre/2012
video clip (vc6)	16:03 a 17:03	08/Septiembre/2012
video clip (vc7)	18:15 a 19:15	08/Septiembre/2012
video clip (vc8)	16:49 a 17:49	09/Septiembre/2012
video clip 9 (vc9)	12:20 a 13:20	10/Septiembre/2012
video clip 10 (vc10)	17:03 a 18:03	10/Septiembre/2012

**Cuadro 3.6.2.A. Horario de grabación de cada video clip en el primer ensayo.**

<b>Video clip del recinto entomológico 1 y 2</b>	<b>Horario (Inicio – Fin) de la video grabación (Hrs)</b>	<b>Fecha</b>
video clip 1 (vc1)	18:15 a 19:15	12/Septiembre/2012
video clip 2 (vc2)	10: 41 a 11:41	13/Septiembre/2012
video clip 3 (vc3)	15:20 a 16:20	13/Septiembre/2012
video clip 4 (vc4)	17:15 a 18:15	13/Septiembre/2012
video clip 5 (vc5)	12:16 a 13:16	14/Septiembre/2012
video clip 6 (vc6)	16:22 a 17:22	14/Septiembre/2012
video clip 7 (vc7)	12:24 a 13:24	15/Septiembre/2012
video clip 8 (vc8)	18:12 a 19:12	15/Septiembre/2012
video clip 9 (vc9)	8:23 a 9:23	16/Septiembre/2012
video clip 10 (vc10)	9:03 a 10:03	17/Septiembre/2012

**Cuadro 3.6.2.B. Horario de grabación de cada video clip en el segundo ensayo.**

### **3.7 Sistematización de la información**

Cuando finalizó el experimento se analizó cada video clip grabado durante los ensayos en los recintos entomológicos. Se analizó cada vuelo trivial realizado por los adultos de mosquita blanca. El número de vuelos triviales observados en los video clips se contaron visualmente y se describen en anexo 1.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados del primer ensayo se describen en los cuadros 4.A y 4.B, mientras que para el segundo ensayo se muestran en los cuadros 4.C y 4.D.

### 4.1 Resultados del primer ensayo

Los adultos de mosquita blanca por lo general están sin movimiento en el haz y en el envés de las hojas jóvenes de la planta. Éstos vuelan por la mañana de 9:00 a 11:00 Hrs y por la tarde antes de que se oculte el sol (Ortiz-Catón, 2010) cuando necesitan buscar pareja para la copula, sitio de ovoposición, tejido nuevo de la planta para alimentarse o por algún otro factor de alteración (Salas 2003).

En la gráfica de la Figura 4.1.A se muestra el número de vuelos triviales de cada video clip que se tomó durante el primer ensayo. En este ensayo se observa mayor movilidad (vuelos triviales) de los adultos por la mañana y la tarde, observando similitud a lo reportado por Ortiz-Catón (2010).

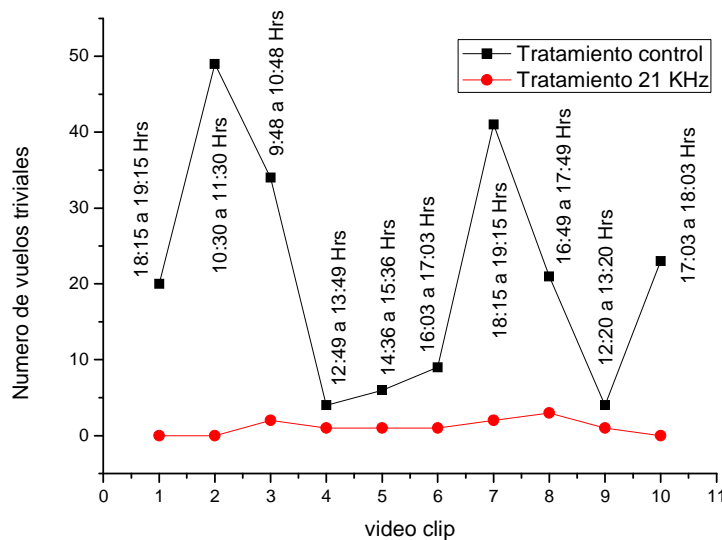


Figura 4.1.A. Número de vuelos triviales observados en cada video clip durante el primer ensayo.

Eventos	Número de eventos por video clip										Total
	vc1	vc2	vc3	vc4	vc5	vc6	vc7	vc8	vc9	vc10	
1. Vuelo en zigzag de hoja inferior a hoja superior	0	8	1	0	1	1	4	3	1	3	22
2. Vuelo en parábola de hoja inferior a hoja superior	6	13	7	0	1	2	12	5	0	3	49
3. Vuelo en zigzag de hoja superior a hoja inferior	3	8	0	0	0	2	4	6	0	3	26
4. Vuelo en parábola de hoja superior a hoja inferior	2	7	4	0	0	0	5	1	0	0	19
5. Vuelo en zigzag de la planta a la superficie lateral	0	1	2	1	0	1	5	1	0	1	12
6. Vuelo en parábola de la planta a la superficie lateral	0	0	4	0	2	0	2	0	0	0	8
7. Vuelo en zigzag de la superficie lateral a la planta	2	1	2	1	1	0	2	0	1	1	11
8. Vuelo en parábola de la superficie lateral a la planta	4	1	3	1	0	0	3	0	0	0	12
9. Vuelo en zigzag en el envés de la misma hoja	3	5	6	1	1	3	1	3	1	0	24
10. Vuelo en parábola en el envés de la misma hoja	0	4	5	0	0	0	2	0	1	11	23
11. Vuelo del envés al has de la misma hoja	0	1	0	0	0	0	1	2	0	1	5
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>49</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>41</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>211</b>

**Cuadro 4.A. Vuelos triviales durante el primer ensayo (tratamiento control).**

Eventos	Número de eventos por video clip										Total
	vc1	vc2	vc3	vc4	vc5	vc6	vc7	vc8	vc9	vc10	
1. Vuelo en zigzag de hoja inferior a hoja superior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Vuelo en parábola de hoja inferior a hoja superior	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
3. Vuelo en zigzag de hoja superior a hoja inferior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Vuelo en parábola de hoja superior a hoja inferior	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Vuelo en zigzag de la planta a la superficie lateral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Vuelo en parábola de la planta a la superficie lateral	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
7. Vuelo en zigzag de la superficie lateral a la planta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Vuelo en parábola de la superficie lateral a la planta	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
9. Vuelo en zigzag en el envés de la misma hoja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. Vuelo en parábola en el envés de la misma hoja	0	0	1	0	1	0	2	3	0	0	7
11. Vuelo del envés al has de la misma hoja	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>11</b>

**Cuadro 4.B. Vuelos triviales durante el primer ensayo (tratamiento 21 KHz).**

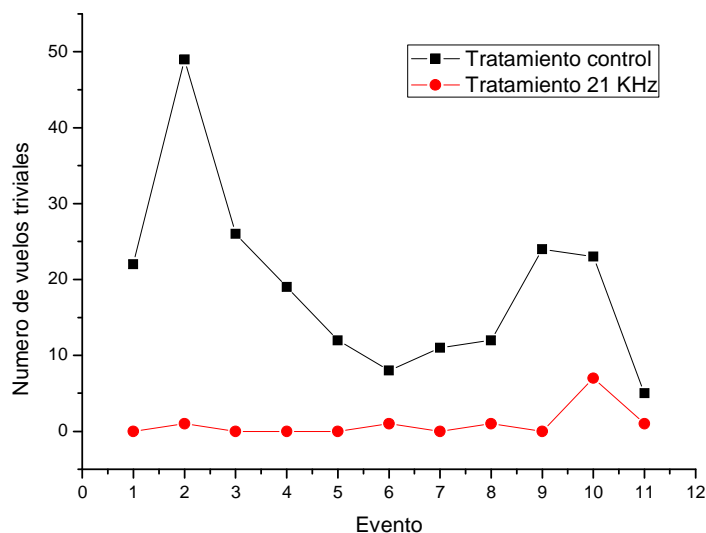
Eventos	Número de eventos por video clip										Total
	Vc1	Vc2	Vc3	Vc4	Vc5	Vc6	Vc7	Vc8	Vc9	Vc10	
1. Vuelo en zigzag de hoja inferior a hoja superior	4	3	0	7	0	0	8	13	10	6	51
2. Vuelo en parábola de hoja inferior a hoja superior	0	14	0	3	2	0	18	20	57	51	165
3. Vuelo en zigzag de hoja superior a hoja inferior	0	2	0	2	2	0	8	17	20	17	68
4. Vuelo en parábola de hoja superior a hoja inferior	0	2	0	2	2	0	5	7	37	52	107
5. Vuelo en zigzag de la planta a la superficie lateral	0	0	0	2	2	1	4	15	11	14	49
6. Vuelo en parábola de la planta a la superficie lateral	0	2	0	7	0	1	5	55	13	15	98
7. Vuelo en zigzag de la superficie lateral a la planta	0	6	0	2	1	3	10	19	8	10	59
8. Vuelo en parábola de la superficie lateral a la planta	0	0	0	7	1	3	5	51	30	16	113
9. Vuelo en zigzag en el envés de la misma hoja	3	10	0	2	1	1	5	14	9	14	59
10. Vuelo en parábola en el envés de la misma hoja	5	4	0	10	0	0	5	6	7	11	48
11. Vuelo del envés al has de la misma hoja	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	5
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>43</b>	<b>0</b>	<b>46</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>73</b>	<b>218</b>	<b>204</b>	<b>206</b>	<b>822</b>

**Cuadro 4.C. Vuelos triviales durante el segundo ensayo (tratamiento control).**

Eventos	Número de eventos por video clip										Total
	Vc1	Vc2	Vc3	Vc4	Vc5	Vc6	Vc7	Vc8	Vc9	Vc10	
1. Vuelo en zigzag de hoja inferior a hoja superior	1	0	0	0	0	0	2	1	3	4	11
2. Vuelo en parábola de hoja inferior a hoja superior	0	2	0	0	1	1	5	3	10	0	22
3. Vuelo en zigzag de hoja superior a hoja inferior	1	4	0	0	1	1	1	2	0	0	10
4. Vuelo en parábola de hoja superior a hoja inferior	0	2	1	0	0	1	0	2	1	0	7
5. Vuelo en zigzag de la planta a la superficie lateral	0	2	0	0	0	1	0	2	3	1	9
6. Vuelo en parábola de la planta a la superficie lateral	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	13
7. Vuelo en zigzag de la superficie lateral a la planta	0	0	0	0	0	1	2	3	1	3	10
8. Vuelo en parábola de la superficie lateral a la planta	0	0	0	0	0	2	0	12	0	1	15
9. Vuelo en zigzag en el envés de la misma hoja	0	1	0	0	1	1	2	1	3	4	13
10. Vuelo en parábola en el envés de la misma hoja	0	1	0	0	0	1	1	6	0	0	9
11. Vuelo del envés al has de la misma hoja	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	4
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>46</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	<b>123</b>

**Cuadro 4.D. Vuelos triviales durante el segundo ensayo (tratamiento 25 KHz).**

En Figura 4.1.B se observa que para el primer ensayo, el cual se ejecutó en un periodo de 120 Hrs, el evento 2 fue el que más se repitió para el tratamiento control, mientras que para los demás eventos hubo menos actividad en vuelos triviales. Sin embargo en donde se emitió el sonido ultrasónico (tratamiento 21 KHz) se observó un menor número de vuelos triviales en comparación al tratamiento control.



**Figura 4.1.B. Número de vuelos triviales observados en cada evento durante el primer ensayo.**

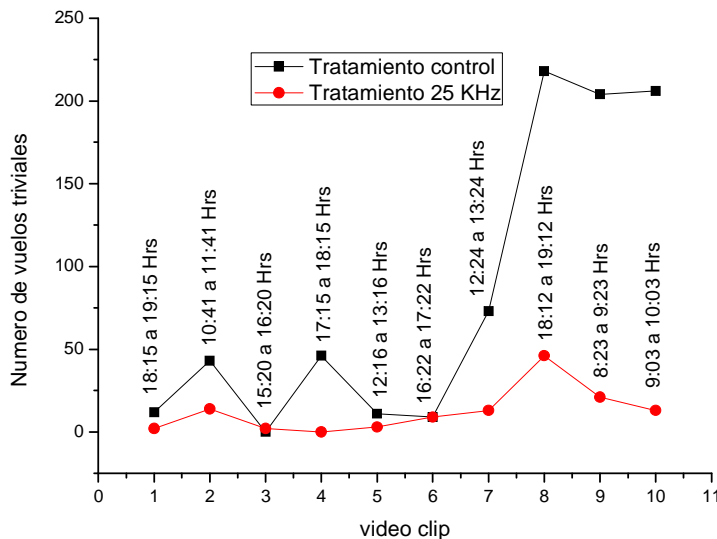
El patrón de comportamiento que presentaron los adultos en la gráfica de la Figura 4.1.B para el tratamiento de 21 KHz puede ser atribuido a la emisión de sonido ultrasónico, ya que se inhibió el número de vuelos triviales en comparación con el tratamiento control.

En la Figura 4.1.B se observa una tendencia con mayor número de vuelos triviales para el evento 10 del tratamiento de 21 KHz, ya que en los demás eventos la mosquita blanca recorre más distancia en su vuelo, lo que implica que se exponga más tiempo al ultrasonido, lo cual se puede deducir que se inhibió por

efecto del sonido ultrasónico disperso en el aire (López-Lina, 2009) obstaculizando su movilidad.

## 4.2 Resultados del segundo ensayo

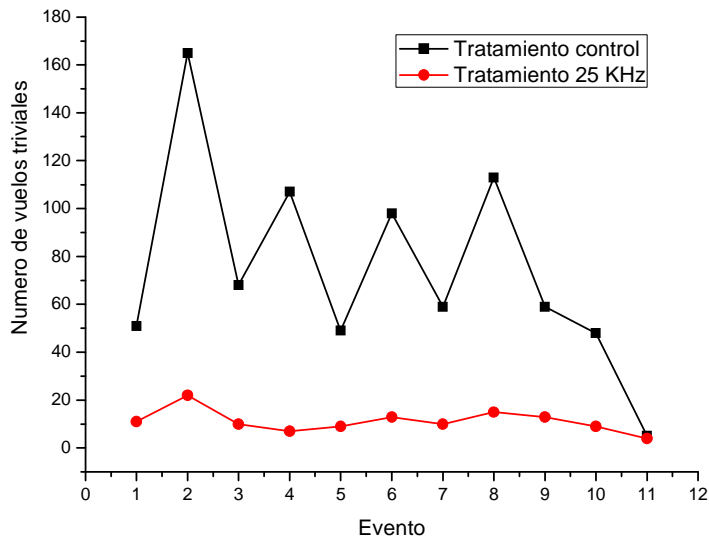
En la Figura 4.2.A se muestra el número de vuelos triviales de cada video clip que se tomó durante el segundo ensayo. En este ensayo se observó mayor movilidad de los adultos en los video clips 8, 9 y 10 que fueron tomados por la mañana y la tarde.



**Figura 4.2.A. Número de vuelos triviales observados en cada video clip durante el segundo ensayo.**

En la Figura 4.2.B se observa que para el tratamiento control el evento 2 fue el que más se repitió, mientras que para los demás eventos hubo menos actividad en vuelos triviales. Sin embargo en donde se emitió el sonido ultrasónico (tratamiento 25 KHz) se observó un menor número de vuelos triviales en comparación al tratamiento control.

El patrón del comportamiento respecto a las oscilaciones que se observan en la grafica 4.2.B se debe a que en este ensayo los adultos mostraron más actividad por la búsqueda de pareja para la copula.



**Figura 4.2.B. Número de vuelos triviales observados en cada evento durante el segundo ensayo.**

El número de vuelos triviales de la mosquita blanca para el primer ensayo tendió a inhibirse para el caso del tratamiento de 21 KHz, mientras que para el segundo ensayo en el tratamiento de 25 KHz el patrón de comportamiento cambió con mayor número de vuelos triviales, observándose mayor dinámica en los tratamientos control para los dos ensayos, por lo tanto el patrón de comportamiento en ambos es diferente.

En ambos ensayos se observó menor cantidad de secreción de mielecilla de la mosquita en el envés de las hojas para los tratamientos de 21 y 25 KHz en comparación con el tratamiento control, y aunque no se cuantificó fue una observación cualitativa.



### **4.3 Conclusiones**

La emisión de sonido ultrasónico en las frecuencias de 21 y 25 KHz afectó el patrón de comportamiento de los vuelos triviales de la mosquita blanca con respecto al tratamiento control, observando una cantidad de vuelos triviales totalmente diferentes para ambas frecuencias.

### **4.4 Sugerencias**

Los músculos y mitocondrias del tórax de la mosquita blanca empiezan a deteriorarse seis días después de su emergencia, y a partir de esta edad tienen poca actividad de vuelo (Blackmer y Byrne, 1993). Cuando los adultos buscan pareja para la copula tienen más actividad de vuelo (Salas, 2003) por lo cual en las próximas investigaciones se recomienda liberar 30 parejas con la misma edad en cada uno de los recintos entomológicos.

También se recomienda explorar con más niveles de frecuencias y tiempo de exposición de la mosquita blanca al ultrasonido para encontrar una frecuencia donde la mosquita blanca sufra alteraciones fisiológicas.

En las próximas investigaciones se recomienda hacer un análisis a nivel bioquímico, para encontrar la inhibición de la alimentación de la mosquita para el caso donde se aplica el tratamiento del ultrasonido.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Medel, S., J.C. Rodríguez-Maciel, C. Santillán-Ortega, A. Lagunés-Tejeda, O. Díaz-Gómez, J.L. Martínez-Carrillo. (2007). Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotipo B colectadas en Baja California y Sinaloa, México. *Revista Interciencia*. 4: 266-269.
- Andrade, C.F.S., I. Cabrini. (2010). Electronic mosquito repellents induce increased biting rates in *Aedes aegypti* mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Vector Ecology*. 1: 75-78.
- Badii, M.H., A.E. Flores, H. Quiroz, R. Foroughbakhch, R. Torres. (2000). Manejo integral de plagas (MIP). *In*: Badii, M.H., A.E. Flores, L.J. Galán W. (eds). *Fundamentos y perspectivas de control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. pp: 417-432.
- Bellows, T.S.Jr., T.M. Perring, K. Arawaka, C.F. Farrar. (1988). Patterns in diel flight activity of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cropping systems in Southern California. *Environmental Entomology* 17:225-228.
- Bentz, J., H.G. Larew. (1992). Ovipositional preference and nymphal performance of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) on *Dendranthema grandiflora* under different fertilizer regimes. *Economy Entomology*. 85(2): 514-517.
- Blackmer, J.L., D.N. Byrne. (1993). Environmental and physiological factors influencing phototactic flight of *Bemisia tabaci*. *Physiological Entomology*. 18: 223-232.

- Blackmer, J.L., V. A. Lindley, D.N. Byrne. (1995). Histological examination of flight muscle development and breakdown in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): relationship to age and flight behavior. *Journal of Morphology*. 226: 213-221.
- Bonache-Gómez, M.A. (2005). Desarrollo de una práctica de codificación por modulación AM. Memoria descriptiva. Universitat Rovira I Virgili.
- Butler, G.D. (1982). Development of sweetpotato whitefly and temperatura. *Imperial Agricultura Briefs*. USA. 4 p. (mineografiado).
- Byrne, D.N., J.L. Blackmer. (1996). Examination of short-range migration by *Bemisia tabaci*. *In Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept p. 17-28.
- Byrne, D.N., T.S. Bellows, M.P. Parrella. (1990). Whireflies in agrcultura systems. *In: Whireflies: Their Bionomics, Pest Status and Management*. Ggerling D. (ed). Intercept Ltd., Andover Hants. pp: 227-261.
- Byrne, D.N., T.S.Jr. Bellows. (1991). Whitefly biology. *Ann. Rev. Entomology*. 36: 431-457.
- Byrne, D.N., P.K. Von Bretzel. (1987). Similarity in flight activity rhythms in coexisting species of *Aleyrodidae*, *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Trialeurodes abutilonea* (Haldeman). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 43:215-219.
- Carson, H.L. (1968). The population flush and its genetic consequences. *In: Population biology and evolution*. Lewontin R. C. Syracuse, New York . pp: 123-137.
- Corbett, G.H. (1935). Malayan Aleurodidae. *J. Fed. Malayan State mus*. 17: 722-852.

- Czosnek, H., M. Ghanim, G. Rubinstein, S. Morin, V. Fridman, M. Zeidan. (2001). Whiteflies: vectors or victims of geminivirus? *In: Advances in Virus Research* Vol. 57. Maramorosch K. (ed). Academic Press. pp: 291-322.
- Da Barro, P.J., F. Driver, J.H. Trieman, J. Curran. (2000). Phylogenetic relationships of world populations of *Bemisia tabaci* using ribosomal ITS1. *Molecular Phylogeny and Evolution*. 16(1): 23-36.
- Davis, M.A. (1980). Why are most insects short flyers? *Evolutionary Theory* 5: 103-111.
- Dingle, H. (1996). *Migration: the Biology of Life on the Move*. Oxford University Press. Nueva York, 474 pp.
- Gerling, D. (2002). Una reinterpretación de las moscas blancas. *Manejo Integrado de plagas (Costa Rica)*. 63: 13-21.
- Gill, J.R. (1990). The morphology of Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Gerling D. (ed). Intercept Ltd. Andover Hants. pp: 13-45.
- Giraldo, E.C. (2003). Principios básicos de ultrasonografía veterinaria. *Revista MVZ Córdoba, Universidad de Córdoba*. 002: 303-309.
- Huang F., B. Subramanya, R. Taylor (2003). Ultrasound affects spermatophore transfer, larval numbers, and larval weight of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*. 39: 413-422.
- Huang, F., B. Subramanyam. 2006. Lack of repellency of three commercial ultrasonic devices to the German cockroach (Blattodea: Blattellidae). *Journal Insect Science*. 13: 61-66.

- Isaacs, R., D.N. Byrne. (1998). Aerial distribution, flight behavior and eggload: their inter-relationship during dispersal by the sweetpotato whitefly. *J. Animal Ecology*. 67: 741-750.
- Jones, J. B., J.P. Jones, T.A. Zitter. (2000). Plagas y enfermedades del tomate: moscas blancas. Ediciones Mundi-Prensa, edición en español, Página 54.
- Karsulovic, J.T., A. Bozo, J. Araya, Y. Vargas, V. Gaete, B. Tejer. (2008). Aplicación de ondas sónicas y ultrasónicas como medio de control del ataque de termitas subterráneas *Reticulitermes flavipes* (kollar) en madera de pino radiata. *Revista de Ciencia y Tecnología*. 2: 99-111.
- Legg, J.P. (1996). Host/associated strains within Ugandan populations of the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.), (Hom. Aleyrodidae). *J. Appl. Entomology*. 120: 523-527.
- López-Lina, G.P. (2009). La inspección y evaluación no destructiva por el método de ultrasonido, en materiales y componentes, para el mantenimiento, la seguridad y la sustentabilidad de la infraestructura industrial. Tesis. Instituto Politécnico Nacional.
- Loxdale, H.D., J. Hardie, S. Halbert, R. Footti, N.A.C. Kidd, C.I Carter. (1993). The relative importance of short- and long range movement of flying aphids. *Biological Reviews* 68: 291-311.
- Luo, C., X.L.Tong. (2011). Fitness of *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Insect Science*. 18: 84-91.
- Mankin, R.W. (2012). Review: Applications of acoustics in insect pest management. *CAB Reviews*. 1: 1-7.
- Martin, J.H. (1987). An identification guide to common whiteflies pest species of the World (Homoptera: Aleyrodidae). *Trop. Pest Man*. 33: 298-322.

- Mary, E., P.D. Ashlock. (1991). Principles of Systematic Zoology. Second Edition. McGraw-Hill. USA.
- May, M.L. (1985). Thermoregulation. *In: Comprehensive Insect Physiology Biochemistry and Pharmacology*. Kerkut, G. A., Gilbert, L. J. (eds), Vol. 4, Pergamon Press, New York. pp: 507-552.
- Mound, L.A. (1963). Host-correlated variation in *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera:Aleyrodidae). *Proc. Roy. Entomol. Soc. Lond (A)* 38: 171-180.
- Mound, L.A. (1984). Zoogeographical distribution of whiteflies. *Current Topics in Vector research*. 2: 185-197.
- Mound A.L., S.H. Halsey. (1978). Whiteflies of the world. A systematic catalogue of Aleyrodidae (Homoptera) with host plant natural enemy data. John Wiley & Sons. Chicester, England.
- Nava, C.U. (1998). Disposición espacial y disposición espacial de mosquitas blancas. *In: Temas selectos de Manejo Integrado de la Mosquita Blanca*. Memoria Científica No. 6. Pacheco C., J. J. y F. Pacheco M. (eds). INIFAP-CIRNO. Cd. Obregón, Son. pp: 47-71.
- Nava-Camperos, U., D.G. Riley, M. Harris. (2001). Temperature and plant effects on development, survival, and fecundity of *Bemisia argentifolli* (Homptera:Eleyrodidae). *Environment. Entomology*. 30(1): 55-63.
- Navas-González, R.J. (2000). Diseño y aplicación de controladores neuro-difusos integrados en modo mixto de alta complejidad. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- Ortega-Arenas, L.D., A.A. Fu-Castillo, A.L. Lourencão, C. Rodríguez-Hernández, C.G. Quevedo-Fugi, F. García-Valente, H.C. Arredondo-Bernal, J. Lara-Reyna, J. Djair-Vendramim, M.C. Avilés-González, U. Nava-Camberos,

- V.E. Carapia-Ruiz. (2006). Moscas blancas. Temas selectos sobre su manejo. Edición original.
- Ortiz-Catón, M., R. Medina-Tórres, R. Valdivia-Bernal, A. Ortiz-Catón, S. Alvarado-Casillas, J.R Rodríguez-Blanco. (2010). Mosquitas blancas plaga primaria de hortalizas en Nayarit. Revista Fuente. 2:31-40.
- Palacios, E., F. Remiro, L.J. López. (2006). Microcontrolador PIC16F84, Desarrollo de proyectos. Segunda Edición. Alfaomega.
- Paz, H., M. Rodríguez, D. González, C. Galarza, E. Torrado. (2008). Control de *copitarsia decolora* en cultivos de flores mediante la emisión de frecuencias. Revista de Ingenieria. 27: 17-26.
- Pedgley, D.E. (1993). Managing migratory insect pests - a review. International Journal of Pest Management 39: 3-12.
- Pilli, S., P. Bhunia, S. Yan, R.J. LeBlanc, R.D. Tyagi, R.Y. Surampalli. (2011). Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. Ultrasonics Sonochemistry. 18: 1–18.
- Pollack, G.S. (2010). Acoustic Communication in Insects: Neuroethology. McGill University, Montreal, QC, Canada. 1-6.
- Prange, H.D. (1996). Evaporative cooling in insects. J. Insect. Physiol. 42 (5): 493-499.
- Price, P.W. (1996). Biological Evolution. New York. Saunders College.
- Rivas, P.G.G. (1994). Geminivirus: Virus transmitidos por las moscas blancas. Hoja Técnica Boletín Informativo MIP N° 33. Costa Rica.
- Ruíz-Toledo, A. (2004). Modelado y evaluación en régimen transitorio de respuestas piezoeléctricas y electrónicas en sistemas de visualización ultrasónica. Tesis. Universidad Complutense de Madrid.

- Ruíz-Sánchez, E., A.T. Rosado-Calderón, W. Chan-Cupul, J. Cristobal-Alejo, R. Munguía-Rosales. (2009). Patogenicidad de *beauveria bassiana* (bals) vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn). Revista de Fitosanidad. 2: 89-93.
- Salas, J. (2003). Caracterización del vuelo de adultos de *Bemisia tabaci*. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 67: 44-50.
- Salvucci, M.E., G.R. Wolfe, D.L. Hendrix. (1997). Effect of sucrose concentration on carbohydrate metabolism in *Bemisia argentifolli*: Biochemical mechanis, and physiological role for trehalulosa synthesis in the silverleaf whitefly. J. Insect Physiol. 43: 457-464.
- Sanderson, J.P. Whiteflies. Consultado el 9 de Enero de 2012 en: <http://www.greenhouse.cornell.edu/pests/pdfs/insects/WF.pdf>
- Segura, C. J. M. (1996). Ecografía abdominal: conceptos de ultrasonido. Segunda Edición. Ediciones Norma. Páginas 3-6.
- Smith, P.E. (2009). Whitefly: identification and biology in New Zealand greenhouse tomato crops. Consultado el 19 de Diciembre de 2012 en: <http://www.tomatoesnz.co.nz/documents/reports/63/Whitefly1%20Identification%20and%20Biology.pdf>.
- Southwood, T.R.E. (1981). Ecological aspects of insect migration. pp. 196-208. En: D. J. Aidley (ed.) Animal Migration. Cambridge University Press, Cambridge.
- Suga, N. (1966). Ultrasonic production and its reception in some neotropical tettigoniidae. Journal Insect Physiology. 12: 1039-1050.
- Takahashi, R. (1995). Some species of Aleyrodidae (Homompera) from Madagascar with a Species of Mauritius. Men. Inst. Scient. Madagascar, 6: 353-385.



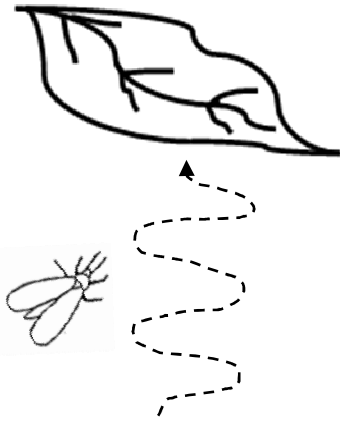
- van Lenter, J.C., L.P.J. Noldus. (1990). Whitefly plant relationships: behavioral and ecological aspects. *In: Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management*. D. Gerling (ed). Intercept Ltd., Andover Hants. pp: 47-89.
- Velasco-Silva, J.L. (2008). Mosca blanca en la agricultura protegida. Intagri. Consultor Fitosanitario.
- Wolfe, R.G., D.L. Hendrix, M.E. Salvucci. (1998). A thermoprotective role for sorbitol in the silverleaf whirefly *Bemisia argentifolli*. *J. Insect Physiol.* 44: 597-603.
- Zitter, T.A., D.L.Hopkins, C.E. Thomas. (2004). Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas: moscas blancas. Ediciones Mundi-Prensa, edición en español, página 70.

## **APÉNDICE**

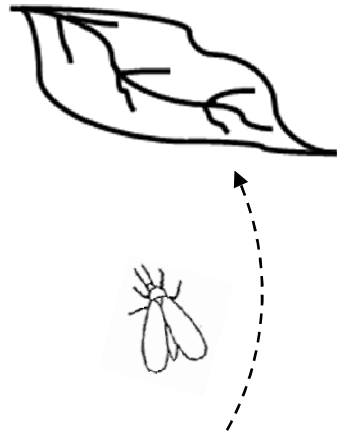
- **APÉNDICE 1:** DESCRIPCIÓN DE LOS VUELOS TRIVIALES DE LA MOSQUITA BLANCA.
- **APÉNDICE 2:** DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS.
- **APÉNDICE 3:** CIRCUITOS IMPRESOS.
- **APÉNDICE 4:** RECONOCIMIENTOS.
- **APÉNDICE 5:** TABLA DE ABREVIATURAS

## APÉNDICE 1

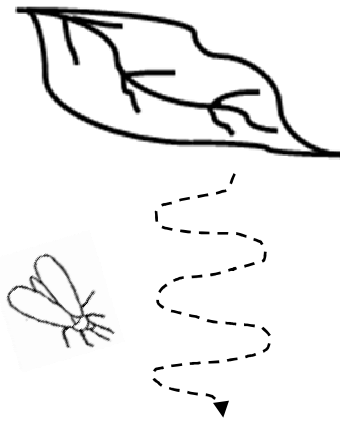
- Evento 1: Vuelo en zigzag de hoja inferior a hoja superior.
- Evento 2: Vuelo en parábola de hoja inferior a hoja superior.
- Evento 3: Vuelo en zigzag de hoja superior a hoja inferior.
- Evento 4: Vuelo en parábola de hoja superior a hoja inferior.
- Evento 5: Vuelo en zigzag de la planta a la superficie lateral.
- Evento 6: Vuelo en parábola de la planta a la superficie lateral.
- Evento 7: Vuelo en zigzag de la superficie lateral a la planta.
- Evento 8: Vuelo en parábola de la superficie lateral a la planta.
- Evento 9: Vuelo en zigzag en el envés de la misma hoja.
- Evento 10: Vuelo en parábola en el envés de la misma hoja.
- Evento 11: Vuelo del envés al has de la misma hoja.



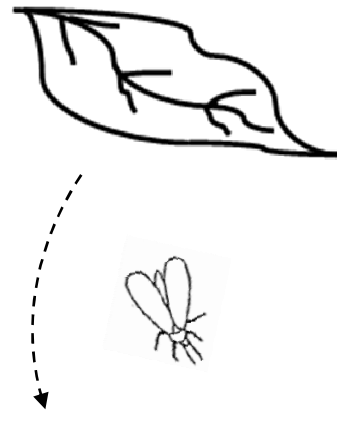
Evento 1



Evento 2



Evento 3

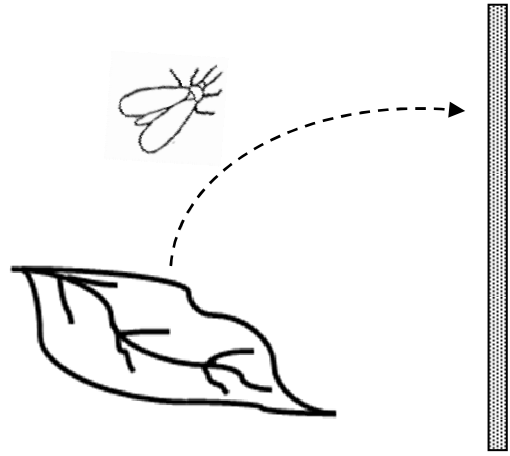


Evento 4

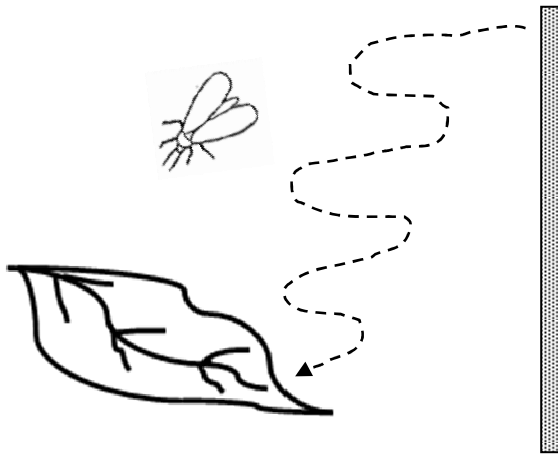




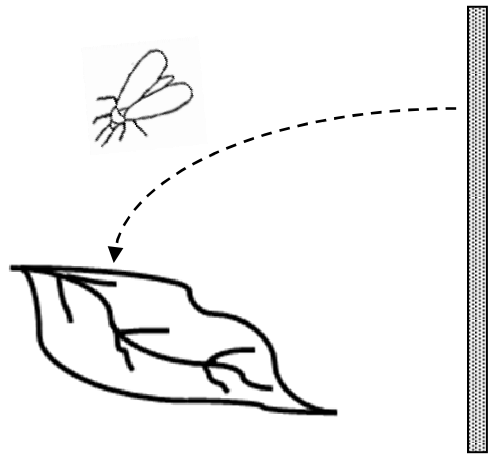
Evento 5



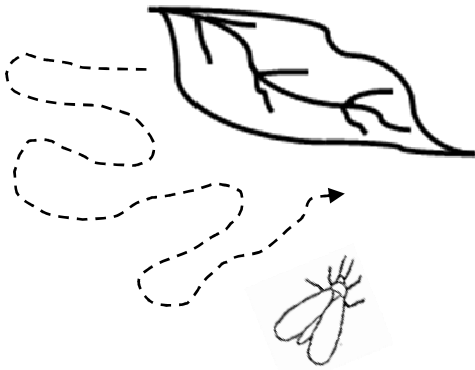
Evento 6



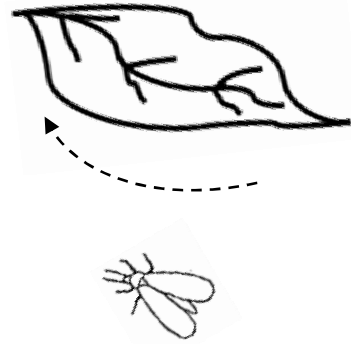
Evento 7



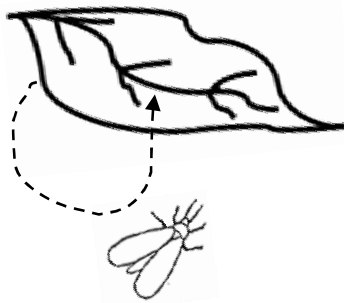
Evento 8



Evento 9



Evento 10

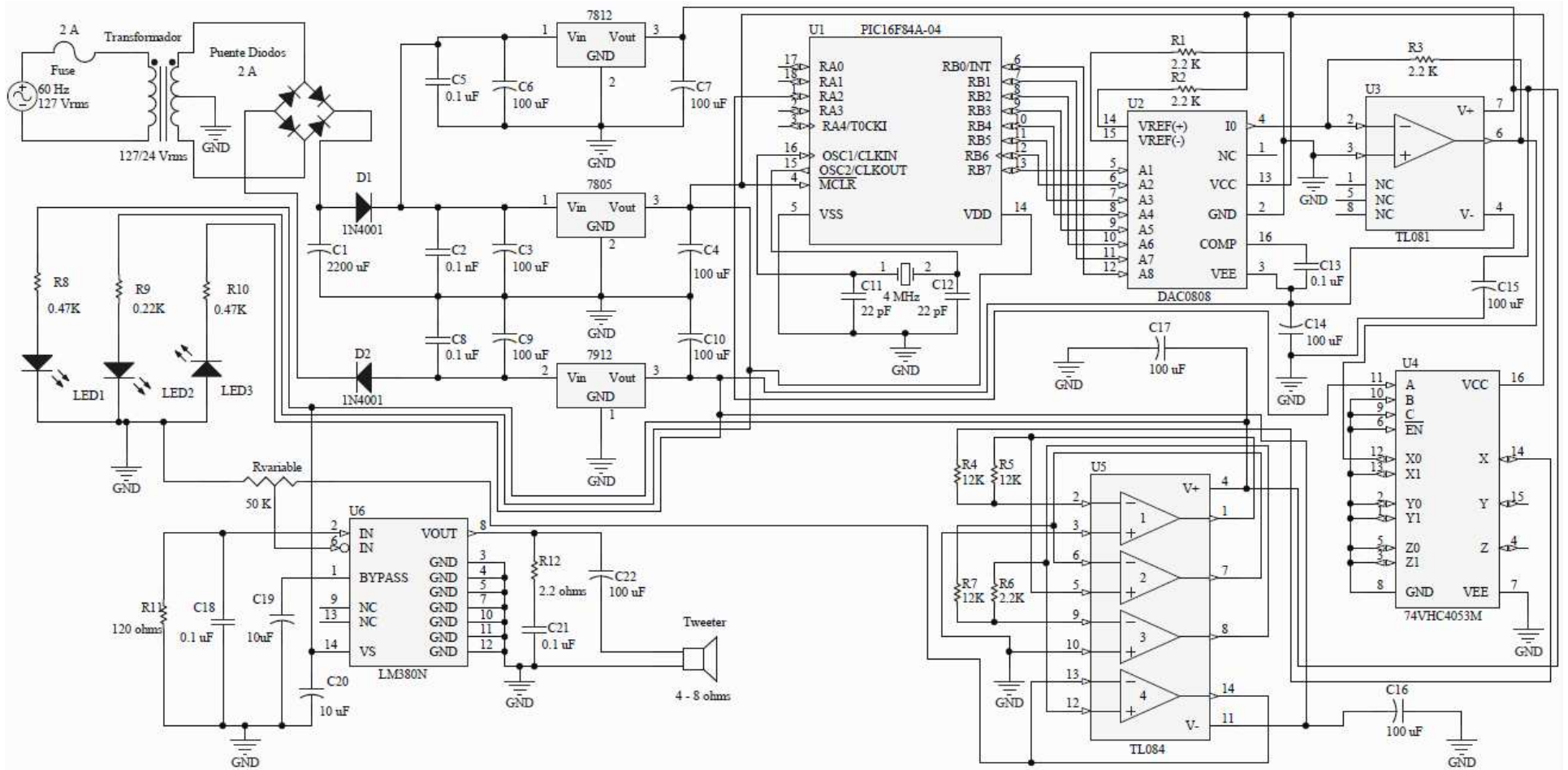


Evento 11

## APÉNDICE 2

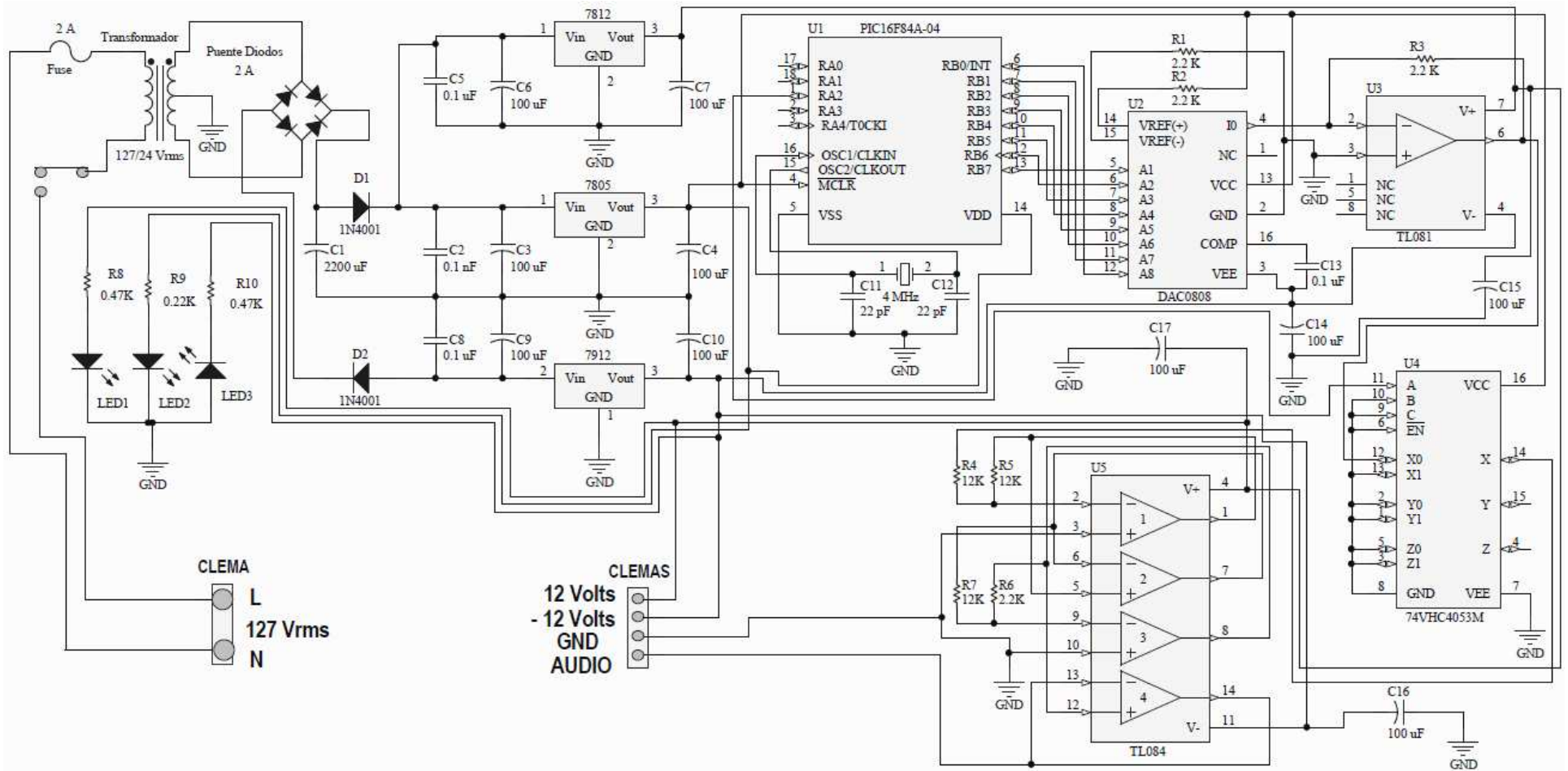
- DIAGRAMA ESQUEMÁTICO GENERAL DEL DISPOSITIVO ULTRASÓNICO.
- DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE MODULACIÓN EN AMPLITUD.
- DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES ULTRASÓNICAS.
- DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO UTILIZADO DURANTE LOS ENSAYOS EN INVERNADERO.

## DIAGRAMA ESQUEMÁTICO GENERAL DEL DISPOSITIVO ULTRASÓNICO

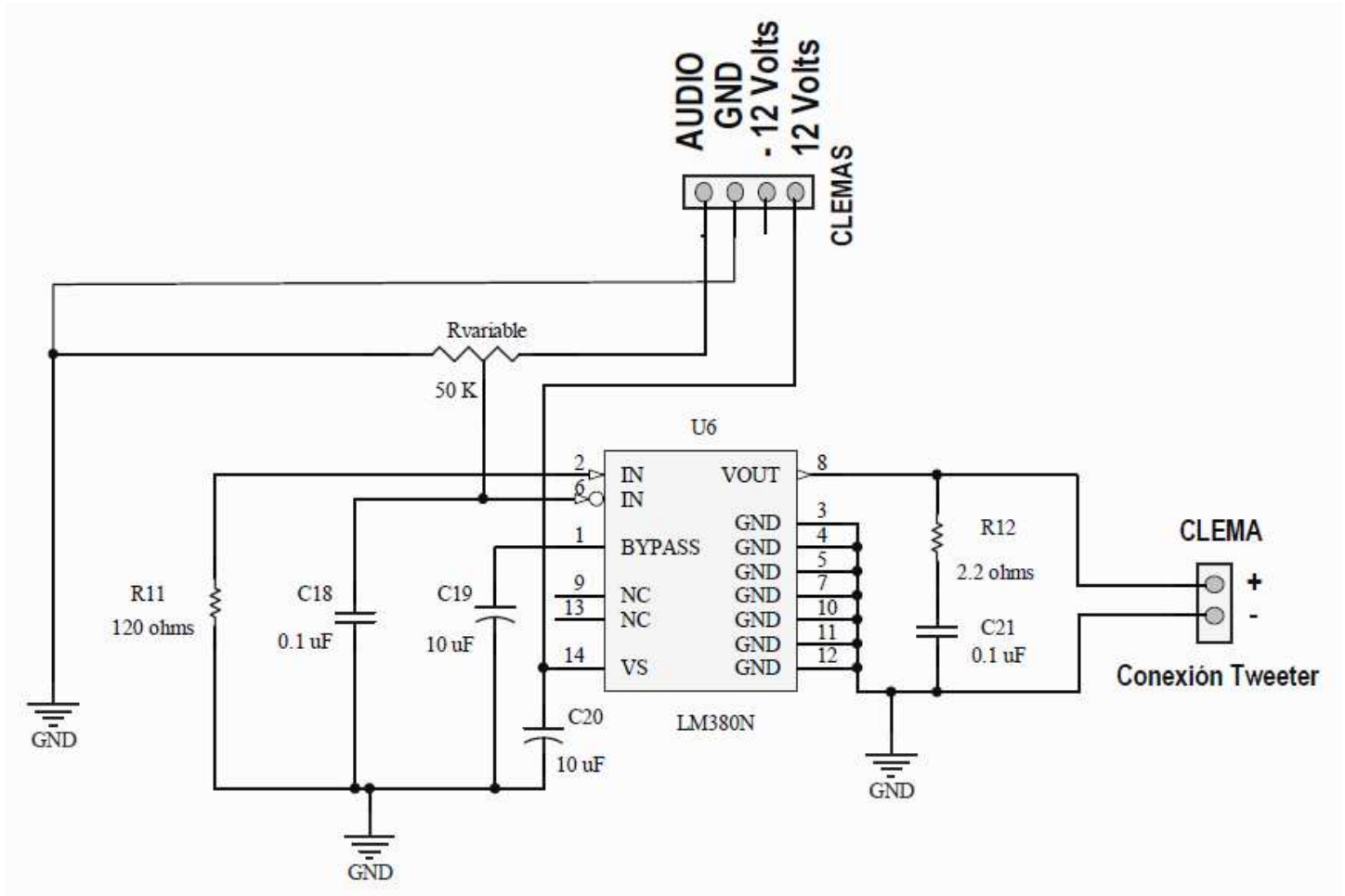




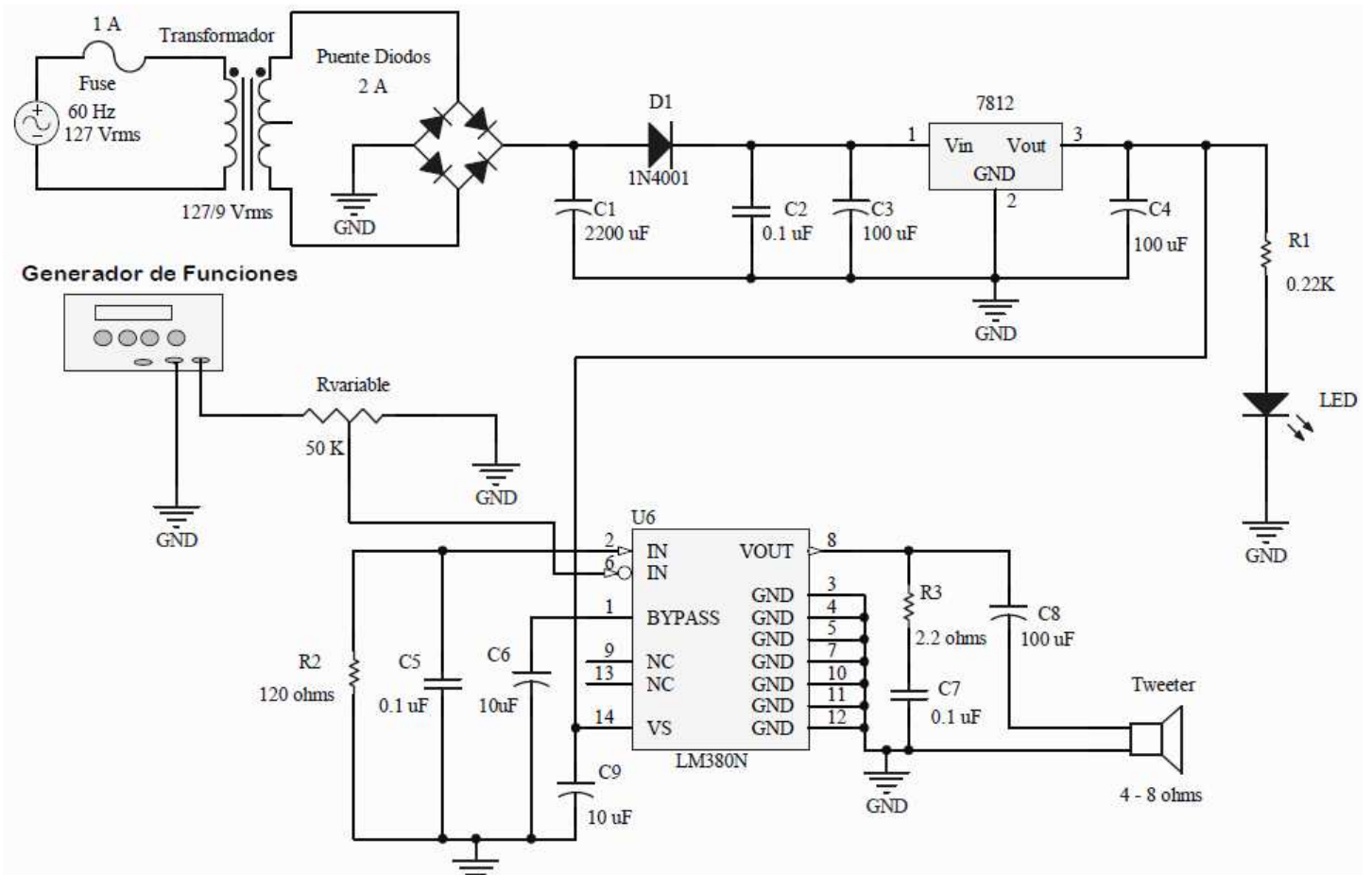
## DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE MODULACIÓN EN AMPLITUD



# DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES ULTRASÓNICAS



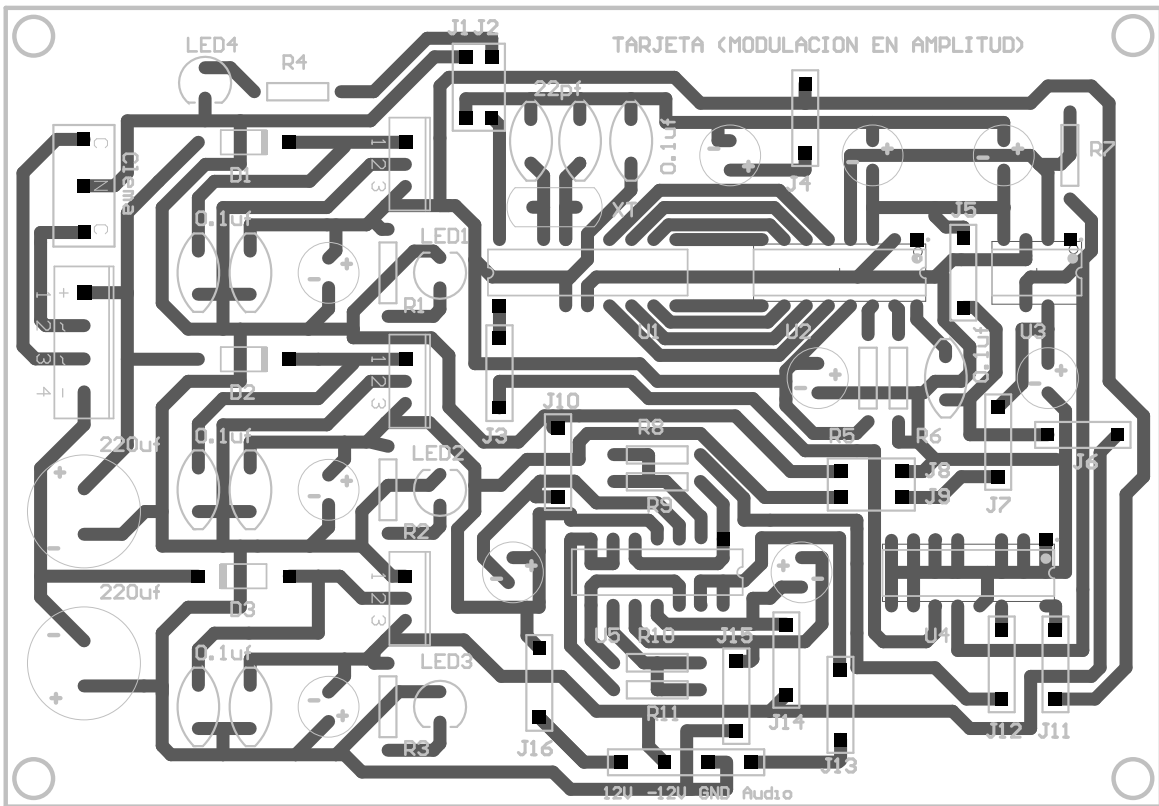
# DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO UTILIZADO DURANTE LOS ENSAYOS EN INVERNADERO



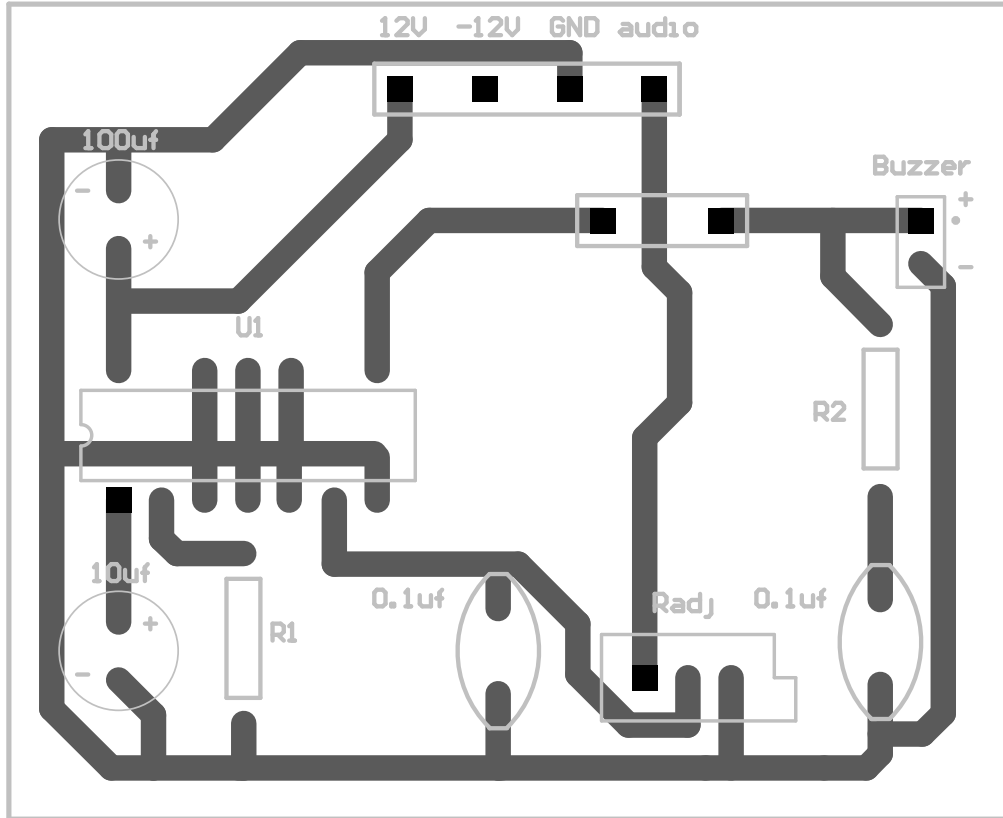
### APÉNDICE 3

- CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE MODULACIÓN EN AMPLITUD.
- CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES ULTRASÓNICAS.

# CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE MODULACIÓN EN AMPLITUD

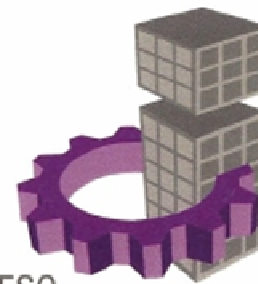
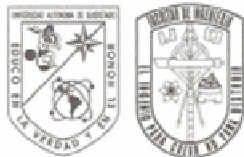


CIRCUITO IMPRESO DE LA TARJETA DE AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES  
ULTRASÓNICAS



## APÉNDICE 4

- Poster en el Octavo Congreso Internacional de Ingeniería 2012, celebrado en la Universidad Autónoma de Querétaro (Constancia).
- Ponencia en el seminario de biosistemas 2012 de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro (Reconocimiento).



**8º CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA**  
ÁREAS: USUO E INNOVACIÓN, ECOSISTEMAS, INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL, AUTOMATIZACIÓN, MECATRÓNICA, ARQUITECTURA Y INNOVACIONES PURAS Y APLICADAS



La UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
a través de la FACULTAD DE INGENIERÍA,  
otorga la presente

## CONSTANCIA

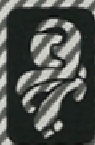
a:

**V.L. PÉREZ-GARCÍA, A. MERCADO-LUNA, E. RICO-GARCÍA,  
R. YÁÑEZ-LÓPEZ, J.A. QUIJANO-CARRANZA**

Por haber participado en la sesión de Póster  
con el trabajo:

***“Desarrollo de un dispositivo basado en sonido  
ultrasónico que afecte el comportamiento de la  
mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius)”***

en el Congreso Internacional de Ingeniería en su octava edición  
realizado del 23 al 27 de Abril del 2012  
en la ciudad de Santiago de Querétaro, México.



**CONCYTEQ**



**CONACYT**

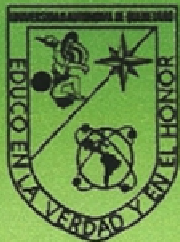
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

**Dr. Aurelio Domínguez González**  
Director

**Dr. Rufino Nava Mendoza**  
Coordinador de la sesión de Pósters

creando **conciencia**





# LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA

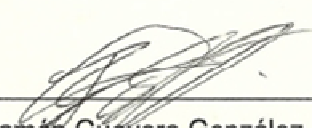
Otorga el presente reconocimiento a:

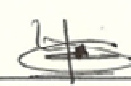
*Ing. Víctor Lauro Pérez García*

Por su exposición titulada:

*" Desarrollo de un dispositivo basado en sonido ultrasónico que afecte el comportamiento de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) "*

Presentada en el Seminario, de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería.  
11 de Mayo de 2012. Querétaro, Qro.

  
Dr. Ramón Guevara González  
Representante del CA de Ing. de Biosistemas

  
M.C. Ricardo Yáñez López  
Coordinador del Seminario

## APÉNDICE 5

---

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
dB	Decibeles
°C	Grados Celsius
cm	Centímetro
Hrs	Horas
KHz	Kilo Hertz
Km	Kilometro
m	Metro
MHz	Mega Hertz
$\Omega$	Ohms
V	Volts
V <sub>s</sub>	Voltaje de alimentación
W	Watts

---