

PROTOTIPO DE ELECTRO-EYECULADOR PARA AVES EN PELIGRO DE EXTINCIÓN EN EL SALVADOR

Luis Barriere, René Melara y Fátima Lazo

Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco,

Soyapango, El Salvador

lrbarriere@gmail.com, guillermo.melara90@gmail.com, fatima027@gmail.com

Resumen- La Electro-eyaculación es un procedimiento técnico-clínico utilizado para obtener muestras de semen de un ave macho sexualmente maduro por medio de estimulación eléctrica controlada, bajo el mínimo daño del procedimiento clínico. Este procedimiento es desarrollado a través de un instrumento electrónico implementado en El Salvador, en base a las características fisiológicas y anatómicas de las aves de interés en el estudio, y orientado para la recuperación de aves rapaces que en nuestro país su depredación hace que estén en peligro de extinción, como son: rey zope, halcón pelegrino, entre otras aves rapaces y guaras rojas. En base a la tecnología desarrollada y técnicas clínicas de recuperación de muestras de semen que desarrollaran expertos en veterinaria, se pretende encontrar las técnicas más adecuadas para rescatar las especies más comprometidas en nuestro medio ambiente.

Abstract- Electro-ejaculation is a technical procedure for clinical semen samples from sexually mature male bird controlled by electrical stimulation, low minimum damage of the clinical procedure. This procedure is developed through an electronic instrument implemented in El Salvador, based on physiological and anatomical birds of interest in the study characteristics, and oriented to the recovery of raptors in our country predation makes them in endangered species, such as: zope king, pelegrino falcon, including raptors and red guaras. Based on technology developed and clinical recovery techniques developed semen samples veterinary experts, is to find the most appropriate techniques to rescue the species most involved in our environment.

Palabras claves— electroeyaculador, onda sinusoidal, onda cuadrada, onda triangular.

I-Introducción

Actualmente, la electro estimulación es un tema muy común en el ámbito médico. Consiste en la estimulación eléctrica orientada a diferentes aplicaciones, que pueden ser analgésicas, de terapia de rehabilitación, de terapia de dolor, y en el caso específico del presente artículo, en la electro estimulación de aves machos para facilitar la eyaculación de las mismas de manera controlada (electro-eyaculación).

El principio de electro estimulación interviene en la contracción muscular ordenada por el cerebro, el cual envía una orden en forma de corriente eléctrica que se desplaza a gran velocidad por las fibras nerviosas hasta el músculo, que reacciona contrayéndose. Con la electro estimulación, la excitación se produce directamente sobre el nervio motor gracias a los impulsos eléctricos perfectamente controlados, de modo que el musculo o el miembro es incapaz de notar la diferencia entre una contracción voluntaria y una contracción inducida eléctricamente.

En el electro-eyaculador para aves el principio es similar, con la diferencia de

que estimulan directamente las gónadas, para provocar la pre eyaculación del ave, debido a que la eyaculación se realiza con ayuda de maso estimulación por parte de un profesional.

La aplicación de electro eyaculación varía dependiendo del tipo de ave a la que se le va a realizar el procedimiento, y es por ello que dependiendo de la especie y del tamaño del ave, así será la cantidad de voltaje y el tipo de onda y frecuencia que se asignará en el estudio.

II-Marco teórico

Muchas aves silvestres en El Salvador se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, debido a la pérdida de sus hábitats, caza ilegal, comercialización, contaminación de hábitat, entre otras causas. Dentro de estas aves, la mayoría de las que han sufrido dichas consecuencias son las rapaces, por lo que es muy importante señalar la necesidad de medidas inmediatas para la protección y conservación de estas, antes que las poblaciones se vean tan reducidas y enfrenten una inminente extinción. Muy pocas aves rapaces al ingreso de los Centros de atención y rescate, tienen un diagnóstico favorable para su liberación,

la mayoría desafortunadamente quedan en cautiverio permanente y a otras se les realiza eutanasia como decisión humanitaria. Debido a lo anterior, la variabilidad genética de las poblaciones se ve más reducida, por lo que la reproducción asistida ofrece una excelente alternativa, mediante la crio-conservación de semen de gametos masculinos de todas estas aves que ingresan.

El presente estudio pretende garantizar la variabilidad genética de poblaciones de ciertas aves rapaces silvestres amenazadas o en peligro de extinción y ejemplares de guaras rojas, pueden sobrevivir mediante el establecimiento de bancos de semen. Dichos bancos de semen generarán las bases para el desarrollo de programas de reproducción ex situ de las aves mencionadas.



Generalidades sobre aves

Las aves poseen unas características fisiológicas y anatómicas específicas. Son vertebrados adaptados al vuelo y, aunque alguna haya perdido esta facultad, toda su anatomía y fisiología están ordenadas en función de esta adaptación. Las aves tienen el cuerpo cubierto de plumas, estas son exclusivas de esta especie, y les sirven para volar y protegerse. Las patas carecen de plumas y suelen estar formadas por escamas parecidas a los reptiles. Su piel está desprovista de glándulas sudoríparas y sebáceas. Tienen un esqueleto ligero y resistente. La rigidez del esqueleto se consigue por: el acortamiento del cuerpo, el gran desarrollo de la cintura escapular y del esternón, la soldadura de las vértebras, la prolongación en forma de gancho de las costillas, la longitud de la cintura pelviana y la forma de unirse el muslo al cuerpo. Las extremidades anteriores están convertidas en alas, sus dedos reducidos a tres, quedan englobadas en un muñón común. Las posteriores sostienen todo el cuerpo. El muslo queda unido a la masa muscular del cuerpo para adelantar el punto de apoyo y mantenerlo más o menos horizontal. El pie tiene 4 dedos como máximo, y los tarsianos y metatarsianos se sueldan en un solo hueso.

Las aves carecen de diafragma. Los pulmones están conectados a la cavidad torácica y poseen un sistema de sacos de aire que constituye una estructura esencial en el proceso de respiración. El intercambio gaseoso se realiza en los pulmones de manera continua, en serie, tanto a la entrada como a la salida del aire, a diferencia del resto de las especies vertebradas. Los sacos aéreos sirven para aligerar el peso, aumentar el volumen del pulmón y ayudan a regular la presión. La cavidad abdominal es bastante pequeña e incluye la parte caudal de la molleja y el intestino, el bazo y los ovarios con el oviducto o los testículos con el ductus deferente. No tienen vejiga. La orina se transporta a través de los uréteres que

desembocan en la cloaca. El sistema circulatorio es completo. El corazón es grande con 4 cavidades. Los eritrocitos son ovalados y nucleados. No tienen plaquetas propiamente dichas, sino trombocitos nucleados. La hembra es heterogamética (2 cromosomas sexuales diferentes), mientras que el macho es el sexo homogamético. Presentan un encéfalo bien desarrollado. En general, tienen una rica organización familiar y social, y una conducta instintiva muy desarrollada.

Si se comparan con los mamíferos, las aves presentan una alta tasa metabólica, es decir, la absorción, el metabolismo y la eliminación de los elementos nutritivos y los excrementos se realiza más rápidamente, necesitando un aporte alimenticio continuo y rico en energía, que consiguen aunque la comida se realice a intervalos, debido a la existencia del buche que almacena y regula el tránsito del alimento.

Anatomía del ave (aparato genital)

En el macho a diferencia de otras especies, las gónadas son intraabdominales. Presentan un epidídimo poco desarrollado y 2 conductos deferentes, que van a desembocar en el urodeo de la cloaca.

Los machos no tienen un órgano copulador como en los mamíferos, sino una papila eréctil rudimentaria que prolapsa

en el momento del servicio. En esta zona hay una cantidad de acúmulos linfáticos que van a aportar linfa en el momento de la cópula. Esa papila eréctil en el momento de la cópula es la que va a transportar los espermatozoides eyaculados hasta la cloaca de la hembra, que también está prolapsada.

Testículos: Cada uno tiene una forma de habichuela y se encuentran cerca del extremo superior de los riñones a ambos lados. Aunque están cerca de los sacos aéreos, su temperatura es la misma que la corporal del animal (41-43°C).

El parénquima testicular no está tabicado, a diferencia de lo que ocurre en algunos mamíferos. Está compuesto de:

Un compartimiento tubular (aproximadamente el 85-95% del volumen testicular), constituido por los tubos seminíferos. En el epitelio de estos túbulos se efectúa la espermatogénesis.

Un compartimiento inter-tubular, que incluye algo de tejido conjuntivo, una red arterio-venosa y linfática y una red nerviosa, adrenérgica y colinérgica.

Los tubos seminíferos se terminan en la proximidad inmediata del cordón testicular, donde se conectan con los túbulos de la rete testis, que se comunican a su vez con los conductos eferentes, que desem-

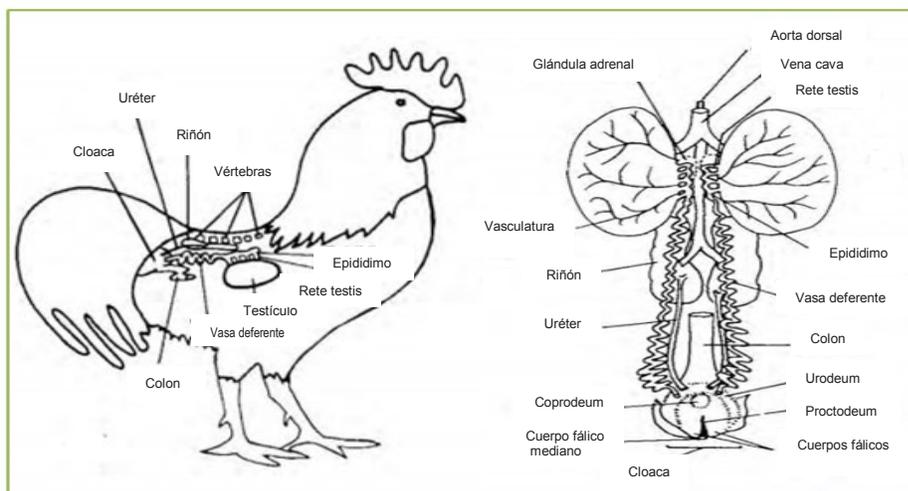


Figura 1. Aparato reproductor del macho.

bocan en el canal de epidídimo. Este último se prolonga por el conducto deferente, muy plegado donde se realiza la maduración y almacenamiento de los espermatozoides. Puede ser comparado con el epidídimo de mamíferos. Este desemboca, a través de la vesícula espermiática en el urodeo.

Epidídimo: Estructura alargada, unida casi a la totalidad del borde dorso medial del testículo. En el epidídimo de las aves se distingue la cabeza, el cuerpo y la cola. Y contiene cerca de 90 conductos aberrantes, remanentes de sacos ciegos de túbulos mesonéfricos.

Conducto deferente: Durante su trayecto, los conductos deferentes discurren en forma sorprendente, en zigzag se longitud es de unos 10cm. Su diámetro aumenta antes de entrar a la cloaca.

Órgano copulador: Esta denominación abarca el conjunto de los repliegues linfáticos de la cloaca, el falo y los cuerpos vasculares paracloacales. Estos últimos son cuerpos ovoides, incrustados en la pared de la cloaca, que se llenan de linfa en el momento de la erección. Dicha linfa transita en la cloaca a través de los repliegues linfáticos, en forma de un fluido transparente que puede mezclarse con el semen. En el momento de la erección los repliegues redondeados de la cloaca se hinchan, formando una ligera protuberancia hacia el exterior de la cloaca y constituyen un pequeño canal por donde se evacua el esperma.

Impedancia bioeléctrica

La impedancia bio-eléctrica es una técnica utilizada para medir la composición corporal, basada en la capacidad que tiene el organismo para conducir una corriente eléctrica. La resistencia y la reactancia dependen del contenido en agua y de la conducción iónica en el organismo, son definidos de la siguiente forma:

Resistencia (R), es la oposición del tejido

al pase de la corriente (físicamente, la oposición de un conductor al paso de la corriente alterna) y Reactancia (X_c), es el otro efecto negativo sobre la conducción eléctrica y está descrito por el comportamiento como condensador de la membrana celular y depende de la frecuencia de la señal.

Tal conductividad eléctrica es mayor en el tejido magro, respecto al tejido adiposo, ya que el primero contiene prácticamente casi toda el agua y los electrólitos del cuerpo. En consecuencia, es sobre la masa magra que es posible medir la impedancia a partir del agua. La conductividad de componentes como la sangre o la orina es alta, la del músculo intermedia y la de huesos, grasa o aire es baja.

III-Alcances y limitaciones

Alcances:

- El electro-eyaculador diseñado genera tres modalidades técnicas de forma de onda: senoidal, triangular y cuadrada. Cada una trabaja a una frecuencia variable por el usuario en rango de 3 a 100 Hz (rangos considerados dentro de la fisiología del ave como necesarios para la experimentación sin daño fisiológico a sus tejidos). Se podrá seleccionar la señal deseada a través de un interruptor externo.
- Se podrá controlar los niveles de tensión y los rangos de frecuencia para la estimulación eléctrica en el ave que se desee experimentar electro-eyacular.
- El diseño de equipo cuenta con una entrada para poder colocar un medidor que verifique el nivel de voltaje que se

esté seleccionando, previo la aplicación de la estimulación.

- La corriente con la que trabaja el equipo diseñado como prototipo es de 20mA, con voltaje variable según la impedancia del ave.

Limitaciones:

- El electro-eyaculador que se diseñó, está destinado a ser utilizado en aves medianas y pequeñas, debido a que el voltaje máximo que entrega el electro-eyaculador es de 11.5 voltios según la forma de onda seleccionada.
- El equipo se alimenta con tres baterías de 9v para poder alcanzar el voltaje máximo propuesto.
- El diseño del equipo es un prototipo experimental sujeto a mejoras técnicas según se comprueben los efectos en las aves de prueba que la ONG ALAS desarrolle en la etapa de investigación científica que desarrollarán en el futuro con esta herramienta técnica Biomédica.

IV-Definición del proyecto

Desarrollar un prototipo electrónico para electro-eyacular aves bajo técnicas de obtención de semen mediante la estimulación eléctrica y técnicas clínicas veterinarias desarrolladas por la ONG ALAS¹.

Las características de las aves con las que se podrá utilizar el electro-eyaculador se muestran en la *Tabla 1*, que es una referencia técnica utilizada para el diseño del prototipo, tomados de estudio preliminar de electro-estimulación en aves [1].

Especie/nombre común	Talla de sonda	Voltaje	Corriente	Resistencia	Densidad de Corriente	Volumen de Semen
<i>Melopsittacus undulatus</i> "periquito australiano"	78mm ²	3.67 VAC	3.93mA	928.5Ω	0.05mA/ mm ²	0.0628 ml
<i>Nymphicus hollandicus</i> "cacaatua"	150mm ²	6.53 VAC	9.24mA	808Ω	0.0615mA/ mm ²	0.15ml
<i>Psittacula krameri manillensis</i> "cotorra de kramer"	150mm ²	4.37 VAC	7.94mA	695Ω	0.0528mA/ mm ²	0.0133 ml

Tabla 1. Datos de carácter eléctricos en aves experimentales.

¹ ONG ALAS: Asociación al Rescate de las Aves Salvadoreñas (ALAS), desarrollan la etapa experimental con el prototipo diseñado para electro-eyacular a las aves de interés previo el desarrollo pleno del proyecto del banco de semen de aves rapaces.

V-Etapas

El proceso para que el circuito a su salida tenga cada una de las tres ondas (cuadrada, senoidal o triangular), se divide en tres etapas electrónicas.

Generación de las ondas

Para la generación de las ondas, se utilizó el integrado XR - 2206, implementando y de su hoja técnica se eligió el diseño más conveniente para el propósito del electro-eyaculador, el circuito de la Figura 2, fue el utilizado para el caso.

Este circuito es de mucha precisión, los potenciómetros RA, RB y R3 sirven para ajustar de la mejor manera la señal.

En el caso de RA es el interruptor que permite el ajuste entre el cambio de señal triangular a senoidal y viceversa, ya que ambas comparte la salida en el pin 2 del IC, mientras que RB es el potenciómetro de ajuste de simetría de la señal, y R3 ajusta la amplitud de la señal de salida.

El potenciómetro R1 es el encargado de variar la frecuencia.

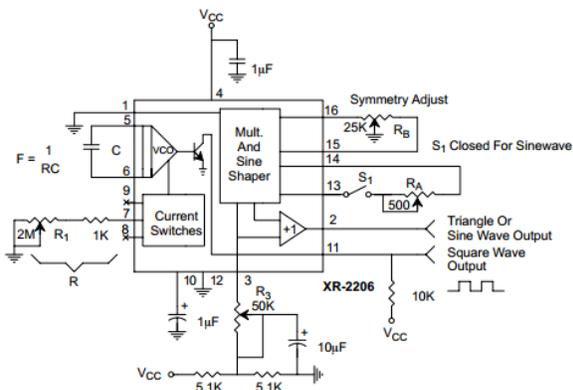
Etapas de inversor de voltaje

Para la etapa amplificación se necesita tener un voltaje simétrico para la alimentación de los amplificadores operacionales 741, por lo que a partir de una fuente de una polaridad se tiene que obtener una fuente bipolar, es decir, que posea voltaje positivo y negativo.

Para la obtención del voltaje negativo, se implementó un circuito inversor de voltaje haciendo uso de un 555. El circuito que se implementó se presenta a continuación, en la figura 3:

Etapas de amplificación

Esta etapa está compuesta por tres amplificadores operacionales 741, cada uno amplifica una señal específica por lo que sus ganancias son distintas y ajustables cada uno con su respectivo potenciómetro (Figura 4).



Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion.

Figura 2. Circuito generador de ondas.

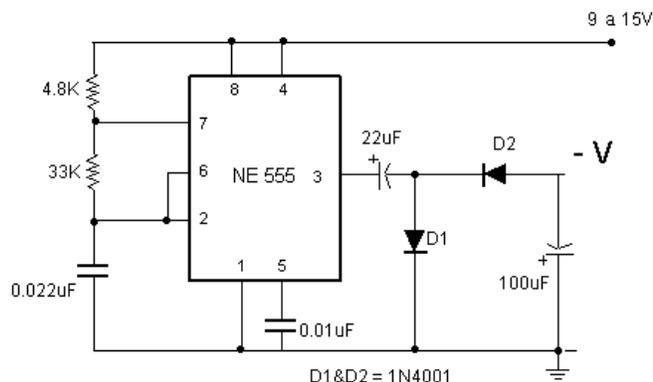


Figura 3. Circuito inversor de voltaje.

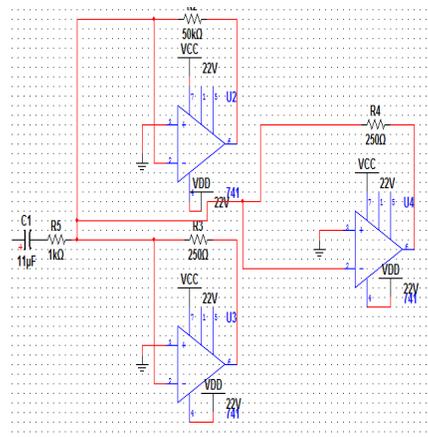


Figura 4. Circuito de amplificación de las señales.

La operación de todo el sistema se plasma en el diagrama de bloques de la Figura 5.

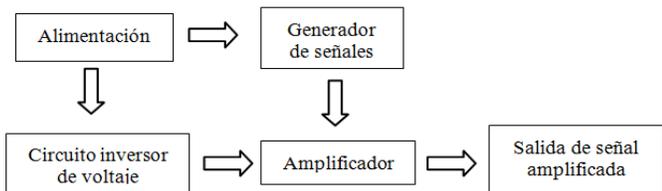


Figura 5. Diagrama en bloques del funcionamiento.

La alimentación se genera de tres baterías de 9v cada una, la inversión del voltaje está dada por el arreglo de 555 presentado anteriormente. Para el generador de señales se utilizó el integrado XR-2206 y para la etapa de amplificación, se hizo uso de un 741.

VI-Mediciones de las ondas de salida

En las Figuras 6, 7 y 8 se presentan las diferentes ondas de salida medidas.

Onda senoidal

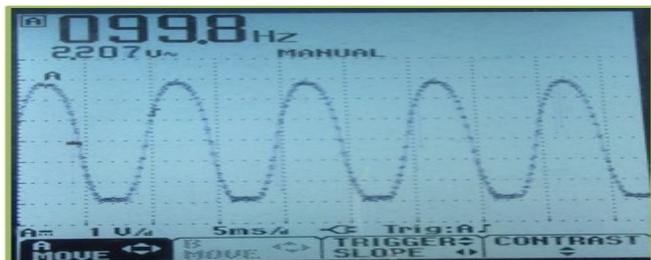


Figura 6. Onda senoidal medida

Onda triangular

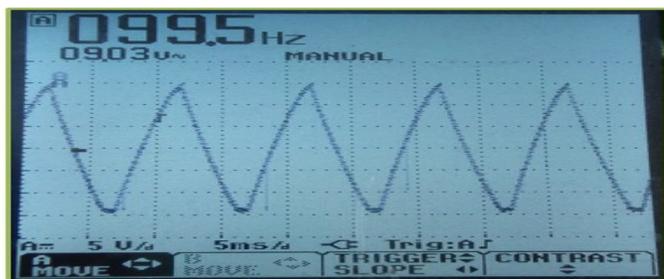


Figura 7. Onda triangular medida

Onda cuadrada

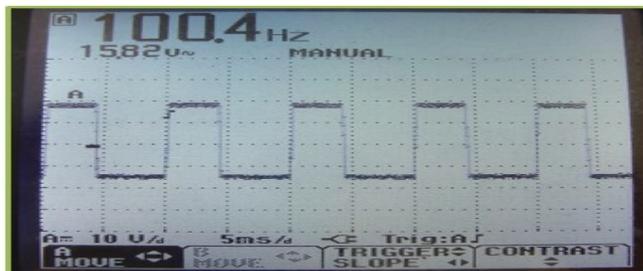


Figura 8. Onda senoidal cuadrada

VII-Chasis

El chasis cuenta con las salidas del electrodo activo y pasivo y una salida para un interruptor- pulsador manual para mayor comodidad del usuario. Tiene una perilla que regula el voltaje, otra que regula la frecuencia, y un interruptor de tres pasos con el que el usuario podrá seleccionar la onda que desea utilizar (Figura 9).

En la parte posterior, está colocada la recámara de las baterías al igual que la entrada para el medidor de voltaje con el que el usuario podrá verificar las modificaciones de tensión aplicados.



Figura 9. Prototipo de la cara de enfrente del chasis, es decir del panel de control del electro-eyaculador.

VIII-Costos del proyecto

Precios de cada elemento utilizado

Capacitores:

Cantidad	Valor	Unidades	Costo (\$)
2	10	μF	0.46
2	1000	μF	1.34
1	47	μF	0.36
1	100	μF	0.50
1	0.22	μF	0.26
1	0.1	μF	0.18

Tabla 2. Precios de los capacitores.

Resistencias:

Cantidad	Valor	Unidades	Costo (\$)
3 Potenciómetro	50	$k\Omega$	0.60
1 Potenciómetro	10	$K\Omega$	0.54
1	100	$k\Omega$	0.27
2	1	$k\Omega$	0.52
2	5.1	$k\Omega$	0.27
1 potenciómetro	1	$M\Omega$	0.50
1 potenciómetro	250	$K\Omega$	0.50
1 potenciómetro	100	$K\Omega$	0.27

Tabla 3. Precio de las Resistencias.

Otros:

Cantidad	Tipo de elemento	Costo (\$)
1 integrado	XR-2206	13
3 integrado	741	1.50
1 integrado	555	1
2 diodos	1N4007	0.50
3 baterías		5.25
Chasis		20
Interruptor de pulso		1.25
1 medidor de voltaje		donado

Tabla 4 Precios de los demás elementos.

Total invertido: \$ 54.32 sin considerar electrodos y otros materiales brindados por terceros.

IX-Conclusiones

- La impedancia de entrada está condicionada por el nivel de líquidos presentes en el área del cuerpo tanto en mamíferos, como en aves, por lo que el peso del ave es condicionante de la impedancia al acoplar el equipo, observándose así variación en la densidad de corriente.
- La mayoría de los órganos internamente están formados por tejido magro, es decir, tejido libre de grasa, esto hace que su resistencia sea más baja comparada con los tejidos adiposos del ave.
- Las señales sinusoidales de bajas frecuencias poseen efectos biológicos similares a los de las corrientes farádicas, que estimula tanto los nervios sensoriales como los motores, así como la contracción muscular. Es por ello que es una buena elección el considerar este tipo de forma de onda como la ideal para trabajar para estimular las gónadas de una especie de ave. A pesar de ello, para efectos experimentales se configuraron tres alternativas de ondas (senoidal, cuadrada y triangular) para experimentar respuestas más efectivas en diferentes tipos de aves. Cabe mencionar que este proceso es único en el país y la región Centroamericana y se desarrollara con las experticias de la Fundación ALAS que es una ONG que vela por la NO desaparición de aves en peligro de extinción en nuestro país.
- El valor de la onda cuadrada es de 14v, por lo que este podría ser utilizadas en aves de mayor tamaño y peso. Se debe considerar que este tipo de onda es más traumática para las regiones fibrilares, por lo que la potencia a aplicar debe ser de menor amplitud.
- El prototipo es de índole experimental por lo que las modificaciones serán desarrolladas según resultados encontrados por parte de la ONG ALAS.

REFERENCIAS

- [1] Harrison, G. J., D. Wasmund, 1983. "Preliminary studies of electrostimulation to facilitate manual semen collection in psittacines", Proceedings of the Annual Meeting. Association of Avian Veterinarians.
- [2] Blackburn, H. D., 2006. "The National Animal Germplasm Program: challenges and opportunities for poultry genetic resources", *Poult Sci*, 85(2): 210-215.
- [3] Blanco, J., D. Wildt, *et al.*, 2009. "Implementing artificial insemination as an effective tool for ex situ conservation of endangered avian species", *Theriogenology*, 71(1): 200-213.
- [4] Durrant, B., 2009. "The importance and potential of artificial insemination in CANDES (companion animals, non-domestic, endangered species)", *Theriogenology*, 71(1): 113-122.
- [5] Samour, H. J., D. M. Spratt, *et al.*, 1985. "Studies on semen collection in waterfowl by electrical stimulation", *Br Vet J*, 141 (3): 265-268.